This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.

COUNTWAY LIBRARY
HC 1X15 Q

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

UNTERSUCHUNGEN

ÜBER

THIERISCHE

ELEKTRICITÄT

VON

EMIL DU BOIS-REYMOND.

ZWEITEN BANDES ZWEITE ABTHEILUNG.

MIT ZWEI TAFELN.

(BOGEN 1—24: 1860; — BOGEN 24—37: 1884.)

BERLIN.

VERLAG VON GEORG REIMER.

1884.

Digitized by Google

„Yea, and that puzzling problem, by „what means the muscles are contracted „and dilated to cause animal motion, may „receive greater light from hence then „from any other means men have hitherto „been thinking on.“

Sir ISAAC NEWTON.

(Letter to Oldenburg. Philosophical Magazine etc. Sept. 1846. 3d Ser. vol. XXIX. p. 193 *).

„Quantum praeterea abest, ut motum „atque effectum, quem subtilis Spiritus, „continuo per Nervos in Musculos influens, „ibi producit, cognoscamus! Sane et haec „res caligine impenetrabili sepulta jacet.“

IOANNES SWAMMERDAM.

(Biblia Naturae. t. II. Leidae 1738. p. 836. 837 *).

HARVARD MEDICAL LIBRARY
IN THE
FRANCIS A. COUNTWAY
LIBRARY OF MEDICINE

Digitized by Google

Dritter Abschnitt.

Untersuchung.

Achtes Kapitel.

Von dem Muskelstrome und seinen Bewegungserscheinungen am lebenden unversehrten Thiere.

§. I.

Von dem Strome der ruhenden Muskeln bei Gegenwart der Haut, den Hautungleichartigkeiten des Frosches und der Entwickelung des Muskelstromes scheinbar in Folge des Enthäutens.

Die thierischen Theile, deren elektromotorische Thätigkeit wir bisher untersucht haben, befanden sich zwar stets in einem dem des unversehrten Lebens noch am ehsten vergleichbaren Zustande. Wir haben gesehen, dafs die elektromotorische Thätigkeit sogar abhängig ist von gewissen Veränderungen der thierischen Theile, welche ihre eigenthümlichen Lebensäufserungen ausmachen, dafs sie mit dem Eintreten solcher Leichenveränderungen verschwindet, wodurch diese Aeufserungen unmöglich gemacht werden (S. oben Abth. I. S. 159. 160. 284).[1] Es scheint demnach, als könne kein Zweifel darüber obwalten, dafs die elektromotorische Thätigkeit auch während des unversehrten Lebens selber im Thiere vorhanden sei. Nichtsdestoweniger hatte ich es, wie man sich erinnert, vorgezogen, mich oben Abth. I. S. 160, als uns die Abhängigkeit des Muskelstromes von dem Lebenszustande des

[1] Unter »Abth. I.« ist in den rückweisenden Anführungen fortan stets die erste Abtheilung des zweiten Bandes dieses Werkes zu verstehen. S. oben S. ... bezieht sich auf vorliegende zweite Abtheilung desselben Bandes.

Digitized by Google

Muskels zuerst bekannt wurde, in der Art auszudrücken, dafs dadurch die Erscheinung als eine nur an dem lebendigen Gewebe mögliche bezeichnet wurde; es unentschieden lassend, ob sie eine ihm wesentlich angehörige, oder eine vielleicht nur unter bestimmten, durch den Versuch gesetzten Bedingungen daran auftretende sei. Die nächste Folge wird zeigen, dafs diese Vorsicht nicht am unrechten Orte war, insofern es wenigstens noch ausgedehnter und schwieriger Untersuchungen bedarf, um die Gegenwart der elektromotorischen Thätigkeit, in der vollen Gröfse, wie wir sie in unseren bisherigen Versuchen kennen gelernt haben, auch am lebenden unversehrten Thier aufser Zweifel zu stellen.

1. Von dem Strom an den entblöfsten Muskeln und Nerven lebender Thiere.

Dafs am lebenden Thiere blosgelegte Muskeln die nämlichen Erscheinungen darbieten, als an dem getödteten Thiere oder nachdem sie vom Organismus getrennt sind, ist uns von früher her bewufst. Man erinnert sich, dafs bereits eine der ersten Mittheilungen Matteucci's über den Froschstrom, vom November 1837, am lebenden Thier angestellte Versuche enthält, in denen die physiologische Wirkung dieses Stromes von den enthäuteten Beinen und den aus der aufgeschlitzten Flanke hervorgeholten Ischiadnerven gewonnen wurde. Der Strom sei am lebenden Thier schwächer als am getödteten, in stetem Abnehmen begriffen und verschwinde endlich ganz und gar. Werde nun der Frosch getödtet und nach Galvani's Vorschrift zubereitet, so erhalte man starke Zuckungen unter den nämlichen Umständen, wo sie am lebenden Thiere versagt hatten (S. oben Bd. I. S. 117. 118). Cima bemerkt, dafs das Ergebnifs dieser Versuchsweise meist nur ein sehr zweifelhaftes sei.[1] Ein Jahr nach jener ersten Mittheilung giebt Matteucci an, dafs er auf die nämliche Art die Multiplicatorwirkung des Stromes am lebenden Frosche beobachtet habe.[2] Später hat Matteucci, um diese Wirkung am lebenden Thiere nachzuweisen, eine Säule aus lebenden Fröschen angewendet. Sie werden mit den Vorderpfoten auf sein Froschbrett genagelt (S. oben Bd. I. S. 229), so zugerichtet, dafs die Beine nur noch durch die Ischiadnerven mit dem Rumpfe zusammen-

[1] Antonio Cima, Saggio storico-critico e sperimentale sulle contrazioni galvaniche e sulle correnti elettro-fisiologiche. In Zantedeschi's Raccolta fisico-chimica italiana ec. 1848. vol. III. p. 467.* — S. die Bemerkungen über diese Arbeit in den Nachträgen am Schlusse des Werkes.

[2] S. oben Bd. I. S. 119; — vergl. Essai etc. p. 76. 83*; — Traité etc. p. 87.*

Digitized by Google

hängen, und die Nerven des einen immer mit dem Unterschenkel des nächstfolgenden in Berührung gebracht. Die beiden Enden der Säule stehen durch feuchte Fliefspapierstreifen mit den bekannten Endlöchern in Verbindung, die in das Brett gegraben, mit Wasser gefüllt sind, und die metallischen Multiplicatorenden enthalten.[1]

Diese Angaben beziehen sich auf MATTEUCCI's angeblichen Froschstrom (courant propre), eine andere Reihe auf seinen sogenannten Muskelstrom (courant musculaire). MATTEUCCI's Grundversuch für den Muskelstrom besteht bekanntlich darin, dafs er den Nerven des stromprüfenden Froschschenkels in der Muskelwunde eines lebenden oder frisch getödteten Thieres umherschleift. Ebenso roh wird mit dem Multiplicator verfahren: »Je blesse le muscle (?) de la poitrine ou de la »cuisse sur un animal vivant, après avoir découvert la surface de ce »muscle. Je touche alors dans le même temps, avec les deux lames »du galvanomètre, l'intérieur de la blessure et la surface du muscle »blessé. J'observe un courant qui est de 20°, 30°, 40°, etc., dirigé »dans le muscle de l'intérieur à la surface.«[2] Der Versuch wurde an Kaninchen, Hammeln und Tauben angestellt. Nach zwei- oder dreimaliger Wiederholung versagt die Ablenkung, oder kehrt sich auch wohl um. MATTEUCCI selber ist mit diesem Verfahren nicht recht zufrieden und hat daher noch ein anderes am Frosch ersonnen. Frösche, welche mit den Vorderpfoten auf ein Brett genagelt sind, werden so zugerichtet, dafs dem einen der enthäuteten Beine nur der Oberschenkel, dem anderen nur der querdurchschnittene Oberschenkel bleibt, und so angeordnet, dafs der Stumpf des letzteren stets auf die Aufsenfläche des ersteren am nächstliegenden Frosche trifft. Eine solche Säule aus vier Gliedern, die Endlöcher mit Wasser gefüllt, gab 12° Ausschlag in der gewöhnlichen Richtung des Muskelstroms.[3]

Um aber diesen Strom auch an lebenden warmblütigen Thieren nicht unerwiesen zu lassen, hat MATTEUCCI einen Weg eingeschlagen, der wenigstens seiner Absonderlichkeit halber unsere Aufmerksamkeit verdient. Er schneidet nämlich lebendigen Tauben die Flügel halb fort

[1] Traité etc. p. 88.*

[2] Archives de l'Électricité. 1842. t. II. p. 446;* — 1843. t. III. p. 15;* — Annales de Chimie et de Physique. Novembre 1842. 3. Série. t. VI. p. 331;* — Avril 1843. ibid. t. VII. p. 436;* — Annales des Sciences naturelles. 1843. 2. Série. t. XIX. Zoologie. p. 322;* — Traité etc. p. 65.* — S. oben Bd. I. S. 528. Bd. II. Abth. I. S. 146.*

[3] Archives de l'Électricité. 1843. t. III. p. 16;* — Annales de Chimie et de Physique. Avril 1843. 3. Série. t. VII. p. 436. 437;* — Annales des Sciences naturelles. 1843. 2. Série. t. XIX. Zoologie. p. 323;* — Traité etc. p. 65. 66.*

Digitized by Google

— »je coupe à moitié les ailes d'un pigeon« — wickelt ihnen eine leinene Rollbinde mehrmals um den Leib, so dafs sie, in die Rückenlage gebracht, unbeweglich darin verharren, und enthäutet beide Oberschenkel. Dann wird von dem Oberschenkel derselben Seite an allen Tauben mit einem Scheermesser ein Stück Muskelfleisch abgetragen, das nur enthäutete Bein je einer Taube mit der Muskelwunde der nächstliegenden in Berührung gebracht und beide Beine fest zusammengebunden. Die beiden Enden einer so zusammengesetzten fünfgliedrigen Säule, d. h. der nur enthäutete Schenkel des einen Endgliedes und die Muskelwunde des anderen, werden mit Fliefspapier bedeckt, das mit destillirtem Wasser angefeuchtet ist, und das Papier mit den Platinenden des Multiplicators berührt; es erfolgen 15° Ausschlag. Beim dritten Schliefsen beträgt indessen die Ablenkung nur noch 6°. Sie hebt sich von Neuem, wenn das geronnene Blut von der Wunde entfernt wird. Nach einer Viertelstunde starb die eine Taube, und die anderen, sagt Matteucci, würden ihrem Beispiel schleunigst gefolgt sein, wenn er sich nicht beeilt hätte, die Binde aufzutrennen. Dies rührte sowohl von der beengten Athmung als dem Blutverlust her. Um dem letzteren Uebelstande vorzubeugen, legte Matteucci die Wunde mehrere Tage vorher an und verband sie mit einem in Oel getränkten Läppchen, unter welchem sich, nach drei bis vier Tagen, ein Schorf vorfand, der sich ohne beträchtliche Blutung entfernen liefs. Eine Säule aus vier solchen Tauben gab 25°, 15°, 7° Ausschlag. Auch bei dieser Art des Versuches würden aber die Thiere bald erstickt sein, wenn Matteucci sie nicht aus ihren Banden befreit hätte. Es wurden daher die Wunden angefrischt und erst nach mehreren Tagen dasselbe Ergebnifs nochmals beobachtet.[1] Cima hat den Versuch wiederholt. Sechs grofse Tauben gaben ihm eine Ablenkung von 36°, die nach 6′ nur noch 15° betrug, und nach anderen 10′ ganz erlosch.[2]

Endlich würde hier noch zu gedenken sein des oben Bd. I. S. 524 Anm.[3] bereits erwähnten Versuches, durch den Matteucci sich bemühte, das Dasein des Muskelstromes am lebenden menschlichen Körper selbst darzuthun. Er erhielt Zuckungen des stromprüfenden Froschschenkels, als er mit dem Nerven desselben auf passende Weise den

[1] Comptes rendus etc. 11 Mars 1844. t. XVIII. p. 443;* — L'Institut. 1844. t. XII. No. 533. p. 90.* — Annales de Chimie et de Physique. 3. Série. Juin 1844. t. XI. p. 403.* — Annales des Sciences naturelles. 1844. 3. Série. t. I. Zoologie. p. 191.* — Leçons sur les Phénomènes physiques des Corps vivants. Paris 1847. p. 187.*

[2] Saggio storico-critico ec. Ivi, p. 482.*

[3] Vergl. Leçons etc. p. 178.*

Digitized by Google

Kreis schlofs zwischen dem Inneren einer Wunde, wodurch ein Muskel des Beines blosgelegt war, und der Oberfläche (?).

Erfahrungen der Art, betreffend die Gegenwart des Muskelstromes an blosgelegten Theilen lebender Thiere, habe auch ich in ziemlicher Anzahl gemacht. Die Mehrheit derselben wurde bei anderen Gelegenheiten nur beiläufig gewonnen und ist im Laufe der vorigen Untersuchungen schon mitgetheilt worden. Man entsinnt sich wohl, dafs wir die negative Schwankung des Muskelstromes beim Tetanisiren auf elektrischem Wege und durch Strychninvergiftung an dem Gastroknemius eines lebenden Frosches beobachteten, von dessen Rückenmark aus sich die Innervation noch ungehindert bis zum Muskel hin fortpflanzte (S. oben Abth. I. S. 55. 515 ff.). Entsprechende Versuche wurden mit dem Nervenstrome angestellt (S. oben Abth. I. S. 474. 475. 510. 605). Auch habe ich den Strom eines lebend enthäuteten Frosches untersucht und an Richtung und Stärke ganz übereinstimmend gefunden mit dem Strom eines durch Gehirnerschütterung oder sonst auf irgend eine Weise getödteten und enthäuteten Gesammtfrosches (S. oben Bd. I. S. 463 ff.).

Unstreitig beweisen diese Versuche, dafs die elektromotorische Thätigkeit auch bei noch bestehendem Zusammenhange mit dem seiner selbst mächtigen Centralnervensysteme und zum Theil ungestörtem Blutumlauf stattfinden könne. Es ist danach, in der That, von vorn herein gar kein Grund vorhanden, an der elektromotorischen Thätigkeit im unversehrten lebenden Körper zu zweifeln. Theoretisch läfst sie sich, bei diesem Stande der Dinge, nun vollends (S. oben S. 1) als erwiesen betrachten, da nicht anzunehmen ist, dafs die blofse Gegenwart der Haut hier von irgend einer wesentlichen Bedeutung sei. Es würde aber nunmehr darauf ankommen, diese Schlufsfolge, so wahrscheinlich sie sich darstellt, auch durch unmittelbare thatsächliche Beweise zu erhärten. Es mufs der Versuch gemacht werden, den Strom nicht nur an den nicht enthäuteten Gliedmafsen, sondern sogar am lebenden unversehrten Thiere selber nachzuweisen.

Merkwürdig genug finden wir uns auf diesem, doch so natürlich scheinenden Wege allein. Matteucci hat denselben nie betreten. In seinen zahllosen Abhandlungen über den Frosch- und Muskelstrom kommt er nicht ein einzigesmal auf den doch so nahe liegenden Gedanken, statt den enthäuteten Frosch, einmal den nicht enthäuteten in den Kreis des Multiplicators zu bringen. Matteucci scheint diesen Versuch nicht für nothwendig gehalten zu haben, aber aus dem entgegengesetzten Grunde von dem, weshalb er uns fast überflüssig däucht. Für Matteucci ist es von vorn herein eine ausgemachte

Digitized by Google

Sache, dafs im lebenden unversehrten Thier keine Spur des Muskelstromes zu finden sei. Seiner Meinung nach entsteht dieser Strom erst durch das Anlegen des leitenden Bogens an die Muskeln. In dem lebenden Thiere sollen die in dem Muskel bei seiner Ernährung entwickelten Elektricitäten sich an denselben Punkten wieder vereinigen, an welchen sie frei wurden, gleichwie, nach der chemischen Hypothese von dem Ursprunge des elektrischen Stromes, die Elektricitäten, die sich beim Eintauchen eines Stückes Zink in verdünnte Säure entwickeln. Das Blut sei die saure Flüssigkeit, die Muskelfaser das positive Metall; der Hülle der Primitivmuskelbündel wird die Rolle des negativen Metalles zugeschrieben, und nichtsdestoweniger angenommen, wie eben gesagt wurde, dafs erst bei Gegenwart eines künstlich hinzugetragenen Bogens ein Strom entstehe (S. oben Bd. I. S. 548. 683. 684. Bd. II. Abth. I. S. 102). Auch Cima huldigt diesen sinnlosen Meinungen, ja er geht so weit zu behaupten, es sei unmöglich, eine richtigere und weniger hypothetische Theorie des Muskelstromes zu geben. [1]

Die ausdrücklich geltend gemachte Einsicht, dafs im lebenden Thiere kein elektrischer Strom kreise, verhindert übrigens Matteucci nicht, in den Aufschriften seiner Arbeiten, in den allgemeinen Redensarten über ihre Bedeutung fortwährend im Munde zu führen die »existence du »courant musculaire dans les animaux vivants ou récemment tués« [2]; oder z. B. im *Traité etc.*, wo es doch p. 123 heifst: »Les résultats »auxquels nous sommes parvenus sont bien loin de prouver l'existence »de l'électricité libre dans les animaux vivants« [3], sich p. 71. 72 zu fragen: »Mais quelle est l'intensité primitive du courant musculaire »dans les différents animaux? Quelle est cette intensité dans l'animal »vivant?... Nous exposerons, par la suite, les faits qui nous con»duisent à conclure que l'intensité du courant musculaire dans l'animal »vivant augmente avec son rang dans l'échelle.« [4] Natürlich; denn schwerlich würde es ihm gelungen sein, mit diesen Arbeiten so viel Aufsehen zu erregen, wenn es in die Augen gesprungen wäre, dafs es

[1] Saggio storico-critico ec. Ivi, p. 543.*

[2] Comptes rendus etc. 23 Janvier 1843. t. XVI. p. 197;* — L'Institut. 1843. t. XI. No. 475. p. 86.* — Annales de Chimie et de Physique. Avril 1843. 3. Série. t. VII. p. 425;* — Archives de l'Électricité. 1843. t. III. p. 5;* — Annales des Sciences naturelles. 1843. 2. Série. t. XIX. Zoologie. p. 313.* — Traité etc. p. 51. 67.*

[3] Vergl. Annales de Chimie et de Physique. Avril 1843. 3. Série. t. VII. p. 457*; — Annales des Sciences naturelles. 1843. 2. Série. t. XX. Zoologie. p. 89.*

[4] Annales de Chimie et de Physique. Avril 1843. 2. Série. t. VII. p. 440. 441;* — Archives de l'Électricité. 1843. t. III. p. 20;* — Annales des Sciences naturelles. 1843. 2. Série. t. XIX. Zoologie. p. 326.*

Digitized by Google

sich darin, seiner eigenen Ueberzeugung nach, um nichts handele, als um eine lediglich von den Bedingungen des Versuches abhängige, mit den besonderen Lebenseigenschaften des Muskels in gar keiner Verbindung stehende Leichenerscheinung.

2. Vom elektromotorischen Verhalten des lebenden oder todten, äufserlich unversehrten Frosches, wie auch seiner nicht enthäuteten Gliedmafsen.

Folgendes sind nun die Ergebnisse der hier in Rede stehenden Untersuchung. Tödtet man einen Frosch, ohne seine Haut zu verletzen, gleichviel sonst in welcher Weise, also z. B. durch Gehirnerschütterung (S. oben Bd. I. S. 459) oder durch Gift, und legt ihn nach kürzerer oder längerer Zeit ohne ihn zu enthäuten in der oben Bd. I. S. 464 angegebenen Art auf die Zuleitungsgefäfse des Multiplicators für den Muskelstrom[1] auf, so erfolgt in den seltensten Fällen ein aufsteigender Ausschlag, wie man ihn erwarten sollte nach dem Erfolg desselben Versuches am enthäuteten Frosche. In der überwiegenden Mehrzahl der Fälle ist vielmehr der Strom absteigend; er beläuft sich auf etwa 40° Ausschlag. In anderen Fällen ist die Wirkung unmerklich, in einigen wenigen erfolgt ein aufsteigender Strom. Endlich kommt es auch vor, dafs die Nadel zuerst in dem einen Sinne einen Stofs erhält, aber alsbald stillsteht, wiederkehrt und zuletzt einen Ausschlag in dem dem ersten entgegengesetzten Sinne beschreibt.

Nicht anders ist der Erfolg beim Auflegen des nicht enthäuteten Galvani'schen Präparates oder des Unterschenkels. Wegen des Zurückziehens der Haut mufs man sie bei diesen Versuchen, wie bei Amputationen, höher durchschneiden, als es nöthig scheint, wenn die Gliedmafsen wirklich damit bedeckt bleiben sollen; nämlich bei dem Galvani'schen Präparat durch einen Zirkelschnitt dicht unter den Armen, bei dem Unterschenkel dicht unter dem Becken.

Das Ergebnifs des Versuches mit dem Gesammtfrosch bleibt dasselbe, wenn der Frosch lebend ist, wie zu erwarten war. Natürlich sträubt er sich dabei heftig schon allein wegen der Rückenlage, die man ihm beim Auflegen ertheilen mufs, vollends wegen des Reizes der gesättigten Kochsalzlösung am Kopf und den Schwimmhäuten. Diese färben sich alsbald dunkel rosenroth und sterben leicht später nebst den Zehen brandig ab. Um dies zu verhüten sowohl als um das Thier

[1] Der Multiplicator für den Muskelstrom ist fortan stets gemeint, sobald nicht ausdrücklich erwähnt ist, dafs der Multiplicator für den Nervenstrom (S. oben Abth. I. S. 495) angewendet worden sei.

Digitized by Google

nicht unnütz Qualen auszusetzen, muſs man es sogleich nach dem Versuch in ein Gefäſs mit Wasser thun, in welchem es in den ersten Augenblicken wie rasend umherfährt.

Um am unversehrten lebenden Frosch den Strom des GALVANI'schen Präparates zu untersuchen, bediene ich mich der oben Bd. I. S. 453 beschriebenen, uns schon von früherher bekannten Vorrichtung zur Befestigung des lebenden Frosches in der ebendas. Fig. 24. Taf. III abgebildeten Gestalt, jedoch ohne die in der Figur sichtbaren Froschhautklemmen, die zu einem später anzustellenden Versuch gehören. Ich tauche nämlich die Füſse, welche zwischen den beiden dazu bestimmten Fortsätzen unverrückbar festgebunden sind, unmittelbar in das eine Zuleitungsgefäſs. Dies geschieht am bequemsten, indem der ganze Rahmen mit dem Frosche um die Axe zz′ Fig. 22. Taf. IV ebendas. nach hinten geneigt wird. Die Flüssigkeit des anderen Zuleitungsgefäſses setze ich mit dem Rücken des Frosches in Verbindung durch einen ungefähr 110^{mm} langen, 15^{mm} breiten und 10^{mm} dicken Bausch, dessen eines Ende in die Flüssigkeit taucht, und dessen anderes Ende ich wie einen Sattel auf den Frosch auflege; wir wollen diesen Bausch Sattelbausch nennen. Er wird, im Verfolg dieser Untersuchungen, noch vielfach in Gebrauch gezogen werden. Der Sattelbausch kann zugleich, anstatt des Schlieſsungsrohres, zum Abgleichen der Vorrichtung zwischen je zwei Versuchen dienen. Um ihn, triefend von Salzlösung, frei in den Zuleitungsgefäſsen handhaben zu können, ist es hier ganz unerläſslich, die Vorrichtung mit den oben Bd. I. S. 220 beschriebenen, Fig. 8. 9. 10. Taf. II ebendas. abgebildeten Sicherheitsplatten zu versehen.

Schlieſst man nun auf diese Art die unteren Extremitäten des lebenden unversehrten Frosches zur Kette, so findet man ganz das Nämliche wie am nicht enthäuteten GALVANI'schen Präparat. Man erhält bald absteigende, bald keine, bald aufsteigende, bald doppelsinnige Wirkungen; die aufsteigenden nicht so häufig als die absteigenden; die Ausschläge können bis 90° betragen.

Beim ersten Anblick nehmen sich diese Erfolge freilich sehr trostlos aus. Wo ist in diesem regellosen Gewirr starker und schwacher, auf- und abflieſsender Ströme, welches keine andere Spur von Gesetz wahrnehmen läſst, als ein gewisses unverkennbares Vorwiegen der absteigenden Richtung, wo ist da der stets die Nadel mit gleicher Heftigkeit an die positive Hemmung werfende Muskelstrom entfernterweise wiederzuerkennen? Indessen bei weiterem Fortschritt der Untersuchung gestaltet sich die Sache bald etwas günstiger. Es findet sich nämlich, daſs alle diese bisher erwähnten Wirkungen, gleichviel wie sie sich ursprünglich darstellten, in kurzer Zeit einer Wirkung von ganz an-

Digitized by Google

derer Beschaffenheit das Feld räumen. Diese besteht in einem aufsteigenden Strome, der 10 — 35° Ausschlag geben kann. Es kehren sich also, im Verfolg des Versuches, die absteigenden Wirkungen um, die man von den nicht enthäuteten Gliedmafsen erwähnterweise in den meisten Fällen erhält; oder es entsteht jene aufsteigende Wirkung nachträglich, wenn anfangs Gleichgewicht im Kreise herrschte; oder endlich es sinken auf das angegebene Mafs die weit stärkeren aufsteigenden Wirkungen herab, die in seltenen Fällen beim ersten Schliefsen der Kette beobachtet werden. Bei Untersuchung des GALVANI'schen Präparates am lebenden Thiere mittelst des Sattelbausches erleidet die schliefslich sich ergebende aufsteigende Wirkung weiter keine Veränderung mehr. Hingegen beim erschlagenen oder vergifteten äufserlich aber unversehrten Frosch, dem GALVANI'schen Präparate, dem Unterschenkel ist merkwürdigerweise jene Wirkung stundenlang in langsamem Wachsen begriffen, so dafs sie endlich eine sehr beträchtliche Gröfse, 60 — 70°, erreicht.

Diesen letzteren Umstand des fortdauernden Wachsens der schliefslich entstandenen aufsteigenden Wirkung der nicht enthäuteten Präparate wollen wir vor der Hand ganz aus dem Spiele lassen. Seine Ursache und Bedeutung wird später klar werden, wenn wir auf einem ganz anderen Wege mit gereifterer Einsicht darauf zurückgeführt werden[1]. Was aber jene aufsteigende Wirkung betrifft, so wäre es offenbar thöricht, wenn wir uns weigern wollten, darin den Muskelstrom zu erkennen, wie wir gewohnt sind, ihn an den enthäuteten Gliedmafsen zu beobachten. Sie erscheint freilich dafür erstaunlich schwach; indessen werden sich dafür ja wohl die Gründe finden lassen, und es bleibt uns unbenommen, die Natur der Wirkung als einerlei mit dem Muskelstrome, noch durch anderweitige Versuche festzustellen. Zunächst handelt es sich hier darum, die ihrer Gröfse und Richtung nach scheinbar so ganz regellosen Ausschläge zu erklären, die das erste Schliefsen der nicht enthäuteten Gliedmafsen zur Kette begleiten und die Erscheinung des Muskelstromes, wenn jene Wirkung in der That einerlei mit ihm ist, anfänglich verdecken.

3. Von den Ungleichartigkeiten der Hautoberfläche des Frosches.

Die schnelle Vergänglichkeit der letzterwähnten Wirkungen scheint darauf zu deuten, dafs der Sitz ihrer Quelle am Froschkörper ein sehr

[1] S. unten §. II. 14.

Digitized by Google

oberflächlicher sei. Die unbeständige, im Allgemeinen aber doch vorzugsweise absteigende Richtung der Ausschläge macht dies noch wahrscheinlicher, da wir ja allen Grund haben anzunehmen, dafs unter der Haut die Gliedmafsen in aufsteigendem Sinne thätig sind. Es ist ganz klar, wir haben es hier vor der Hand mit nichts zu thun, als mit Ungleichartigkeiten der Hautoberfläche des Frosches.

Es hält nicht schwer, hiefür einen entscheidenden Beweis zu liefern. Er liegt darin, dafs man ganz dieselben Wirkungen, ganz auf dieselbe Weise, auch an blofsen ausgeschnittenen Hautstücken des Frosches beobachten kann. Man legt ein solches Stück mit der innern Fläche auf eine Glastafel von beiläufig 150^{mm} Länge und 50^{mm} Breite, die man mittelst der wagerechten Klemme des allgemeinen Trägers in der Höhe der oberen Fläche der Zuleitungsbäusche aufstellt, und brückt zwischen dieser oberen Fläche und beliebigen Punkten des Hautstückes mit Kochsalzlösung getränkte vierseitig prismatische Hülfsbäusche gleich denen, welche oben Abth. I. S. 511 beschrieben, Fig. 129. Taf. IV. abgebildet sind. Alsdann erhält man Ströme von verschiedener Stärke, welche aber bis zu 70° Ausschlag geben können und in deren Richtung sich beim ersten Anblick ebensowenig Gesetzlichkeit blicken läfst als in der der Ströme, die wir von den nicht enthäuteten Gliedmafsen erhielten.

Da man aber hier nach Belieben bald mit dem einen, bald mit dem anderen Hülfsbausch die Schliefsung des Kreises vollziehen oder neue Stellen der Haut berühren kann, so gelingt es bald, hinter das geheime Gesetz jener Wirkungen zu kommen. Es zeigt sich nämlich, dafs sie ganz einfach beruhen auf der ungleichzeitigen Berührung der Froschhaut mit den Bäuschen. Es geht nämlich stets der Strom in die Froschhaut von dem Bausch aus, oder es verhält sich positiv stets der Bausch, der sie zuletzt berührt hat. Legt man beide Bäusche möglichst gleichzeitig auf, so bleibt die Nadel vergleichweise in Ruhe.

Ein dauernder Gegensatz beider Berührungsstellen kann begreiflich nicht die Folge der ungleichzeitigen Berührung sein. Es versteht sich somit von selber, dafs die Wirkungen nur vorübergehender Art sind. Auch die heftigsten Ausschläge hinterlassen keine beständige Ablenkung. Wenn man den Kreis auch nur wenige Minuten dauernd geschlossen hält, findet man, bei Verbindung der beiden Hülfsbäusche durch den Schliefsungsbausch, der in Bezug auf den Multiplicatorkreis eine Nebenleitung von verschwindendem Widerstande bildet, keine Spur von Ladungen vor.

Soweit kommen diese Ströme wegen ungleichzeitiger Berührung der Froschhaut mit den Bäuschen also ganz überein mit denen durch

Digitized by Google

ungleichzeitige Benetzung von Metallen (S. oben Bd. I. S. 210). Allein hier läfst sich die Wirkung beliebig oft erneuen, indem man die eine Elektrode wiederum der Luft und der Trocknifs aussetzt. Diese Wirkung beruht darauf, dafs die metallische Oberfläche, je nachdem sie eingetaucht oder in der Luft befindlich ist, zwei verschiedene Zustände annimmt, aus deren einem in den anderen und zurück sie beliebige Male übergeführt werden kann. Anders ist es mit den in Rede stehenden Strömen wegen ungleichzeitiger Berührung der Froschhaut mit den Bäuschen. Es büfst nämlich die Froschhaut in dieser Berührung ihre Wirksamkeit sehr bald völlig ein.

Sind zwei Hautstellen einige Minuten lang durch die Bäusche zum Kreise geschlossen gehalten worden, wobei die Nadel des Multiplicators, wenn er sich im Kreise befindet, erwähntermafsen auf Null kommt, so gelingt es nicht mehr, durch ungleichzeitige Berührung derselben Stellen mit den Bäuschen einen Ausschlag zu erhalten. Aber bei Berührung einer dieser Stellen und einer frischen Stelle erhält man einen Ausschlag in der Haut von der frischen nach der anderen Stelle hin, wobei es nunmehr gleichgültig ist, ob die Berührung gleichzeitig oder ungleichzeitig geschah, und wenn das Letztere, ob der Bausch an der frischen oder der Bausch an der alten Berührungsstelle später aufgelegt wurde. Um zwei Hautstellen in der Art unwirksam zu machen, dafs sie bei ungleichzeitiger Berührung keinen Strom mehr geben, und dafs sich jede von ihnen negativ gegen eine frische Hautstelle verhält, ist es aber nicht einmal nöthig, sie durch die Bäusche zum Kreise zu schliefsen. Es genügt, ihnen die Bäusche ungeschlossen einige Minuten hindurch anzulegen. Ja, bepinselt man einfach ein Stück Froschhaut mit gesättigter Kochsalzlösung, so giebt es bei ungleichzeitiger Berührung mit den Bäuschen keine Ströme mehr.

Der nächste Grund dieser Ausschläge wegen ungleichzeitiger Berührung ist sonach klar. Jede Berührungsstelle ist der Sitz einer elektromotorischen Kraft in der Richtung von dem Bausch in die Haut hinein. Allein die Berührung der Salzlösung beeinträchtigt zugleich die Ursache dieser elektrischen Triebkraft. Daher bei ungleichzeitiger Berührung der Strom im Sinne der Triebkraft an der jüngsten Berührungsstelle, der so lange anhält, bis der Unterschied der Triebkräfte an beiden Stellen unmerklich geworden ist.

Hier könnten wir, genau genommen, die Untersuchung der Hautungleichartigkeiten auf sich beruhen lassen. Wir wissen genug davon, um nunmehr unsere Forschungen über den Muskelstrom ungestört durch dieselben fortsetzen zu können. Indessen wollen wir diese Anwendung der gewonnenen Einsicht noch etwas aufschieben und

Digitized by Google

wenigstens den Versuch machen, der entfernteren Ursache der in Rede stehenden Erscheinungen etwas näher zu rücken.

Alle Punkte der äufseren Oberfläche der Froschhaut, gleichviel z. B. ob dem Rücken oder dem Bauch angehörig, verhalten sich in gleicher Weise. Hingegen die innere Fläche der Haut zeigt die Ströme wegen ungleichzeitiger Berührung nicht. Nur eine leise Spur davon nahm ich wahr, und zwar diese in umgekehrter Richtung von der der Ströme an der äufseren Oberfläche, nämlich von dem zuerst berührten Punkte durch die Haut zum zuletzt berührten. Von der äufseren Oberfläche derselben Hautstücke, welche diese Erfolge gaben, erhielt ich beiläufig später noch die heftigsten Wirkungen bei ungleichzeitiger Berührung, zum Zeichen, dafs die Unwirksamkeit der inneren Fläche auf keiner Täuschung beruhte.

Breitet man ein Stück Haut auf der Glastafel dergestalt aus, dafs die eine Hälfte gegen die andere verdreht ist, also die eine Hälfte innere, die andere äufsere Hautoberfläche zu Tage kehrt, und berührt man beide Hälften mit den Bäuschen entweder gleichzeitig, oder so, dafs man den Bausch für die äufsere Oberfläche oder den äufseren Bausch zuletzt auflegt, so erhält man einen ungemein heftigen Ausschlag stets in der Richtung von der äufseren Berührungsstelle durch die Haut zur inneren Berührungsstelle. Der Strom verschwindet allmälig, obwohl er länger wahrnehmbar bleibt, als der zwischen zwei Stellen der äufseren Oberfläche. Dieser nämlich mufs erwähntermafsen bereits verschwinden, wenn der Unterschied der Triebkräfte an beiden Stellen klein genug geworden ist, um am Multiplicator für den Muskelstrom keinen merklichen Strom zu erzeugen; in dem gegenwärtigen Fall dagegen, wo auf der einen Seite keine Triebkraft vorhanden ist, mufs der Strom so lange sichtbar bleiben, bis die einzelne Triebkraft so klein geworden ist, wie dort der Unterschied der beiden Kräfte. Legt man den äufseren Bausch zuerst auf, so erhält man gleichfalls einen Ausschlag in der vorgedachten Richtung, der aber um so schwächer ist, je länger der Bausch bereits auflag. Hat man die äufsere Hautfläche vor der Berührung mit Kochsalzlösung bepinselt, so erfolgt kein Ausschlag mehr. Rückt man den äufseren Bausch von der Stelle, so zeigen sich heftige Ausschläge immer in der nämlichen Richtung. Rückt man dagegen den inneren Bausch, so sind die Ausschläge unvergleichlich kleiner und haben die verkehrte Richtung, d. h. aus der Haut in den Bausch hinein.

Versieht man die Hülfsbäusche an den Stellen, mit denen sie die Froschhaut berühren, noch mit anderen Hülfsbäuschen von etwa 10^{mm} Seite und 3^{mm} Dicke, so hat man die Leichtigkeit, das elektromotorische

Digitized by Google

Verhalten der Haut bei Berührung auch noch anderer Flüssigkeiten als der Kochsalzlösung zu prüfen. Man braucht alsdann nur jene Hülfsbäusche zweiter Ordnung mit der betreffenden Flüssigkeit zu tränken, und läuft nicht mehr Gefahr, dabei die Zuleitungsbäusche selber zu verunreinigen. Diese Untersuchung mufs geeignet sein, uns in Betreff der entfernteren Ursache der in Rede stehenden Ströme, der Quelle nämlich jener elektrischen Triebkraft aus dem Bausch in die Haut hinein, einige Fingerzeige zu verschaffen. Die erste Flüssigkeit, die ich dergestalt versuchte, war Brunnenwasser.

Es schien klar, dafs sich bei Anwendung desselben die Wirkungen wegen ungleichzeitiger Berührung nicht würden zeigen können, da ja die Froschhaut immer schon dauernd mit Wasser in Berührung gewesen ist. Diese Vermuthung wurde durch den Versuch bestätigt. Zwar blieb die Nadel, beim Schliefsen zweier irgendwelcher Stellen der Froschhaut zum Kreise, fast nie in Ruhe; stets erfolgten gröfsere oder geringere Ausschläge. Allein diese Ströme unterschieden sich von den mit den Salzbäuschen erhaltenen dadurch, dafs ihre Richtung unabhängig war von der Ordnung, in der die Bäusche aufgelegt wurden, und dafs sie auch bei noch so langer Schliefsung nicht merklich an Stärke verloren.

Nichtsdestoweniger schienen sie, mit den Strömen wegen ungleichzeitiger Berührung der Salzbäusche, einerlei Ursprungs zu sein. Stellt man nämlich den oben beschriebenen Versuch an der inneren und äufseren Hautoberfläche mit Wasser- statt mit Salzbäuschen an, so erhält man, gleichviel in welcher Ordnung man die Bäusche auflege, stets einen heftigen Ausschlag im nämlichen Sinne als mit den Salzbäuschen, d. i. von der äufseren Berührungsstelle durch die Haut zur inneren Berührungsstelle. Nach dem Ausschlage kommt aber die Nadel nicht, wie bei Anwendung der Salzbäusche, auf Null, sondern diesmal ist die Wirkung beständiger Art. Hat man aber vorher die äufsere Hautfläche mit Kochsalzlösung bepinselt und hernach wieder mit Wasser abgespült, so findet man auch mit den Wasserbäuschen keinen merklichen Strom mehr nach der inneren Hautfläche hin. Die Berührungsstelle des Wasserbausches mit der äufseren Hautfläche ist also gleich der des Salzbausches der Sitz einer Triebkraft in die Haut hinein; allein das Wasser vernichtet nicht, gleich der Salzlösung, die Quelle dieser Kraft; daher der beständige Strom, der gleichwohl vermifst wird, wenn man seine Quelle vorher mit Kochsalzlösung zerstört hat. So vernichtet auch die Kochsalzlösung die beständige Wirksamkeit verschiedener Punkte der äufseren Hautfläche untereinander bei der nachherigen Berührung mit Wasserbäuschen. Berührt man aber mit dem

Digitized by Google

einen Wasserbausch eine mit Kochsalzlösung unwirksam gemachte Hautstelle, mit dem anderen eine frische Stelle, so erfolgt eine beständige Wirkung nicht anders als wenn statt der künstlich unwirksam gemachten Stelle die innere Hautfläche berührt worden wäre. Man prüfe mittelst der Wasserbäusche das Verhalten zweier Stellen der äufseren Hautfläche gegeneinander. Wir wollen diejenige die positive nennen, an welcher der Strom aus dem Bausch in die Haut geht. Legt man dann den einen Bausch dauernd einer unwirksam gemachten Stelle der äufseren Hautfläche oder der von Natur unwirksamen inneren Hautfläche an, und den anderen Bausch abwechselnd einer von jenen beiden Stellen, so erhält man einen Ausschlag nach der unwirksamen Berührungsstelle hin, jedesmal dafs man den Bausch von der negativen nach der positiven, einen Ausschlag in entgegengesetztem Sinne, jedesmal dafs man den Bausch von der positiven nach der negativen Stelle überträgt. Die positive Hautstelle ist also in Verbindung mit der von Natur unwirksamen oder künstlich unwirksam gemachten die wirksamere. Umgekehrt, hat man zuerst das Verhalten zweier wirksamen gegen eine künstlich oder natürlich unwirksame Hautstelle beobachtet, so kann man sicher sein, beim Prüfen jener beiden untereinander die wirksamere positiv gegen die andere zu finden.

Es scheint demnach angemessen, sich zu denken, dafs die beständigen Wirkungen, die man zwischen verschiedenen Stellen der äufseren Hautfläche mittelst der Wasserbäusche beobachtet, nichts anderes sind, als der Ausdruck des Unterschiedes der Triebkräfte, die an beiden Stellen beständig im Sinne aus dem Bausch in die Haut hinein wirken. Indem wir jetzt dazu übergehen, eine Gesetzmäfsigkeit in der Richtung und Stärke der beständigen Ströme zu entdecken, die man zwischen verschiedenen Stellen der äufseren Hautfläche wahrnimmt, untersuchen wir daher eigentlich die verschiedene Gröfse der Triebkräfte, welche diese Stellen, beim Schliefsen zum Kreise mittelst der Bäusche, in der Richtung aus dem Bausch in die Haut hinein, entwickeln.

Zuerst versuchte ich, ob zwischen der grünen und weifsen Gegend der äufseren Hautfläche, deren Gegensatz sich ja bereits im Eierstock vorgebildet findet, eine beständige Strömungsrichtung sich kundgeben würde. Ich schnitt halb grüne, halb weifse Hautringe quer um den Leib des Frosches aus, schnitt sie an der Begrenzung der beiden Farben auf, breitete sie auf der Glastafel aus und untersuchte sie mittelst der Wasserbäusche. Ich erhielt aber keine ganz sichere Ergebnisse. Der Strom ging bald in der Haut vom Weifs zum Grün, bald vom Grün zum Weifs. Merkwürdigerweise aber schwankte die Strömungsrichtung dergestalt weniger von einem Thier einer gleichzeitig

Digitized by Google

eingefangenen Froschsippschaft zum anderen, als von einer ganzen solchen Sippschaft zur anderen. Bei warmer Sommerwitterung gefangene Frösche zeigten die Richtung vom Weifs zum Grün; bei kalter Witterung in Haft gewesene, oder nach der ersten Herbstkälte an einem warmen Septembertage frischgefangene die Richtung vom Grün zum Weifs, wenn auch nicht unbedingt beständig, doch überwiegend oft. Es schien demnach, als wenn nicht individuelle Unterschiede, sondern mehr äufsere Einflüsse allgemeiner Art, zunächst die Temperatur, jene Schwankungen bedingten. Doch will ich darüber keine bestimmte Meinung geäufsert haben. Noch unregelmäfsiger stellten sich die Erscheinungen an Hautstücken heraus, die rings um die Oberschenkel oder die Unterschenkel ausgeschnitten waren. Namentlich am Unterschenkel gab sich, selbst an den Fröschen, die beständig den Strom vom Bauch zum Rücken darboten, keine Spur eines Gesetzes zu erkennen.

Der Untersuchung, ob an der Froschhaut der Länge nach elektromotorische Unterschiede in beständiger Anordnung vorhanden seien, mufste diejenige vorangehen, ob sich symmetrische Körperstellen untereinander gleichartig verhalten. Dies ist nicht der Fall. Sondern als ich Wasserbäusche an symmetrische Stellen des Rückens, der Ober- und Unterschenkel anlegte, fand ich Ströme vor, die zwar in jedem einzelnen Falle eine wohlausgeprägte Richtung und beständige Gröfse zeigten, jedoch beim Vergleich verschiedener Thiere, wie es auch nicht anders sein konnte, keine Gesetzmäfsigkeit blicken liefsen.

Die Untersuchung der Froschhaut ihrer Länge nach mufste somit so geschehen, dafs sie stets ihrer ganzen Breite nach mit den Bäuschen berührt wurde. Ich schnitt den Fröschen die ganze grüne Hautgegend vom Nacken bis zu den Fufsgelenken aus, breitete sie auf der Glastafel aus, und legte ihr, dem Obigen gemäfs, Wasserbäusche von 30^{mm} Länge der ganzen Breite des Hautstückes nach an. Wo ich auch die Bäusche anbringen mochte, stets erhielt ich lebhafte Ströme, bald in der einen, bald in der anderen Richtung. Um das Gesetz dieser Ströme, wenn ein solches vorhanden sei, aufzudecken, verfuhr ich so, dafs ich zuerst einen Bausch am Nacken, den anderen am Rücken anbrachte; sodann den Nackenbausch am Kreuz; nun den Rückenbausch an den Oberschenkeln; endlich den Kreuzbausch an den Unterschenkeln, und zuletzt wurden noch Unterschenkel und Nacken mit einander verbunden. Es zeigte sich nun im Allgemeinen, dafs die Ströme von der Gegend des Kreuzes nach aufwärts und von ebenda nach abwärts gerichtet waren. Manchmal war der Rücken der positivste Punkt, wie es denn auch sonst an mancherlei Unregelmäfsigkeiten nicht fehlte. Durchaus beständig aber war die aufsteigende

Digitized by Google

Richtung zwischen Nacken und Rücken, wie auch die absteigende zwischen Nacken und Unterschenkeln. Diese letztere schien darauf zu deuten, dafs die gleiche oder gröfsere Stärke der aufsteigenden Ströme, die man zwischen Kreuz und Nacken wahrnimmt, im Verhältnifs zu der Stärke der absteigenden Ströme zwischen Kreuz und Unterschenkeln, auf geringerem Widerstande bei kleinerer elektromotorischer Kraft beruht; denn bei gleicher oder gröfserer elektromotorischer Kraft hätte die Strömung zwischen Nacken und Unterschenkeln beziehlich Null oder aufsteigend sein müssen.

Weiter habe ich diese Untersuchung im Einzelnen nicht geführt, deren Interesse mit der Erkenntnifs der allgemeinen hier obwaltenden Verhältnisse nachgerade erschöpft war. Ich fuhr nun darin fort, die Erscheinungsweise der Hautströme bei Anwendung verschiedener Flüssigkeiten statt der Kochsalzlösung zu erforschen. Zuerst nahm ich die gesättigten Lösungen von Chlorammonium, Jodkalium, Alaun, schwefelsaurem Kupferoxyd; dann verdünnte Schwefelsäure und käufliche Salpetersäure; endlich eine sehr concentrirte Kalihydratlösung und Ammoniakflüssigkeit.

Das Ergebnifs war, dafs diese Flüssigkeiten sämmtlich eben solche Ströme wegen ungleichzeitiger Berührung gaben, wie die Kochsalzlösung, und zwar sämmtlich in derselben Richtung. Mit den Salzlösungen hatten die Ströme auch nahezu dieselbe Stärke, mit den Alkalien kamen sie mir schwächer, mit den Säuren stärker vor. Die elektrische Triebkraft in den Berührungsstellen hat also in allen diesen Fällen einerlei Richtung, gleichviel ob die Flüssigkeit, mit der der Bausch getränkt ist, eine stark elektropositive oder -negative Eigenschaft besitzt. Die Schlüsse, die sich hieraus in Betreff des eigentlichen Sitzes jener Triebkraft zu ergeben scheinen, wollen wir bis zu einer späteren Stelle versparen und zuerst den Thatbestand noch weiter aufnehmen.

Die Ströme wegen ungleichzeitiger Berührung der Haut mit den Salzbäuschen scheinen den nackten Amphibien überhaupt eigen zu sein. Wenigstens fand ich sie bei allen vor, deren ich zur Zeit des Abschliefsens über diesen Punkt habhaft werden konnte; aufser beim Wasserfrosch (R. esculenta) nämlich noch beim Grasfrosch (R. temporaria), dem Laubfrosch (Hyla arborea), der Feuerkröte (Bombinator igneus), der gemeinen Kröte (Bufo cinereus), und dem Erdmolch (Salamandra maculata). Letzteren verdankte ich der Güte des Herrn C. Eckhard in Giessen. Am stärksten waren die Ströme bei der Kröte. Hingegen vermifste ich sie vollständig bei den Fischen, wo ich sie bisher suchte, dem Aal (Muraena anguilla), dem Schley

Digitized by Google

(Cyprinus Tinca), dem Hecht (Esox lucius), und dem Barsch (Perca fluviatilis).

Dies macht wahrscheinlich, dafs die elektromotorische Wirksamkeit der Haut in Verbindung stehe mit der den nackten Amphibien eigenthümlichen Hautabsonderung, welche ja bei der Kröte gleichfalls besonders ausgebildet ist. Legt man der äufseren Hautfläche des Frosches oder der Kröte ein Stück rothes Lackmuspapier an, so findet man es nach einiger Zeit gebläut vor.[1] Legt man aber auf eine harte Unterlage ein Stück Froschhaut, gleichviel von welcher Stelle, auch z. B. vom Bauch, mit der Aufsenfläche nach oben, darüber ein Stück blaues Lackmuspapier, endlich ein Stück starkes Spiegelglas, und preſst das Ganze heftig zusammen, so sieht man durch das Glas auf dem Lackmuspapier einzelne rothe Flecke entstehen, augenscheinlich von dem aus den Hautdrüsen ausgepreſsten Milchsaft herrührend. Dieser Saft reagirt also sauer. Bei der Kröte und dem Salamander bedarf es, um dasselbe *wahrzunehmen*, gar nicht erst dieses Kunstgriffes. Hier quillt der Milchsaft sogleich in hinreichender Menge, um die Untersuchung anzustellen, aus jedem Einschnitt in die Ohrdrüse hervor.[2]

Zwischen der oben mit Hülfe der Wasserbäusche bestimmten vergleichweisen Wirksamkeit verschiedener Stellen der Froschhaut und der Vertheilung des Drüsenreichthums in der Haut läfst sich zwar keine Beziehung erkennen. Walzt man aber ein Stück Froschhaut zwischen Löschpapier unter heftigem Druck aus, so dafs man die Hautdrüsenbälge möglichst von ihrem Inhalt entleert, so zeigt das Hautstück bei der ungleichzeitigen Berührung mit den Salzbäuschen die Ströme nur

[1] Die innere Seite reagirt natürlich gleichfalls und zwar noch deutlicher alkalisch von der sie benetzenden Lymphe.

[2] Leroux hat bereits angegeben, dafs das Krötengift sauer sei. (Journal de Médecine. t. XL. (1817?) p. 75. [In Tiedemann's Physiologie des Menschen. Bd. I. Darmstadt 1830. S. 440*]). — Ich weifs daher wirklich nicht, was ich zu John Davy's Behauptung sagen soll, der im September 1825 auf Corfu von dem Milchsafte der Kröte ausdrücklich schrieb: »It is neither acid nor alkaline, judging from its not changing the colour of litmus and turmeric paper.« Philosophical Transactions etc. For the Year 1826. P. II. p. 127.* — Ich ergreife diese Gelegenheit, diejenigen, die sich mit Froschversuchen abgeben, vor den Wirkungen der in Rede stehenden Absonderung auf das Auge zu warnen. Es ist mir im Laufe meiner Untersuchungen dreimal begegnet, dafs mir, beim Durchschneiden einer drüsenreichen Hautgegend mit der Scheere, ein Tröpfchen jener Flüssigkeit in's Auge spritzte. Es entstanden sofort alle Zeichen einer lebhaften Entzündung der Bindehaut, und erst nach mehreren Stunden endete der Zufall mit der Abstofsung einer zusammenhängenden Schicht Epithelium. Es ist demnach rathsam, bei jedem Schnitt oder Stich durch die Froschhaut die Augen zu schliefsen oder das Gesicht abgewendet zu halten.

Digitized by Google

noch spurweise. Schabt man ferner die Epitheliumschicht, die Pigmentschicht und die darunter gelegene Schicht der flaschenförmigen Drüsenbälge bis auf das Derma fort,[1] so sind die Ströme ebenfalls verschwunden.

Diese Versuche scheinen der Ansicht, als finde eine Beziehung statt zwischen der elektromotorischen Wirksamkeit der Froschhaut und ihrer eigenthümlichen Absonderung, einigermafsen das Wort zu reden. Und es könnte scheinen, als wenn durch die Entdeckung der alkalischen Reaction der Hautoberfläche und der sauren Natur des Drüseninhalts zur Erklärung jener Wirksamkeit vollends eine bequeme Handhabe geboten sei. Sucht man indessen die Erscheinungen genauer zu zergliedern, so sieht man bald, dafs hier noch ein völliges Dunkel herrscht, welches zu erhellen uns auch nicht gelingen wird.

Zunächst ist nun zu berücksichtigen das Ergebnifs der Versuche, in welchen die Berührungsstellen der Bäusche, statt mit Kochsalzlösung, mit Säuren und mit Alkalien getränkt waren. Aus diesen Versuchen scheint nämlich unabweisbar zu folgen, dafs der Sitz der Triebkraft nicht die Oberfläche der Froschhaut und ihre Ursache nicht die Berührung mit den die Bäusche tränkenden Flüssigkeiten sei. Denn wäre dies der Fall, so könnten nicht die Ströme bei Anwendung der Säuren und Alkalien einerlei Richtung haben. Es müfste denn die Hautoberfläche noch elektronegativer sein, als die Säuren, oder noch elektropositiver als die Alkalien, was beides nicht ist; und es müfste der Unterschied der Triebkräfte bei Anwendung der Säuren und der Alkalien viel gröfser sein, als er wirklich ist. Man ist also gezwungen, den Sitz der Triebkraft nicht an der Grenze der Flüssigkeiten und der Haut, sondern in der Haut selber zu suchen. Die Flüssigkeiten dienen, abgesehen davon, dafs sie den Kreis bilden helfen, blos dazu, der Triebkraft an der jüngeren Berührungsstelle die Oberhand und somit die Möglichkeit zur Erzeugung eines Stromes dadurch zu verschaffen, dafs sie durch ihre verderbliche Wirkung die Kraft an der älteren Stelle zuerst schwächen, endlich vernichten. Es ist keine Frage, dafs sie die Haut lebhaft angreifen; man erkennt dies deutlich an den mannigfachen Verfärbungen in's Graue und Braune, denen die Haut an den Berührungsstellen allmälig unterliegt.

Nach unserem obigen Versuch, wo nach dem Abschaben der äufseren Hautlamelle Czermak's sich die innere zur Erzeugung der Ströme unfähig bewies, mufs also jene der Sitz der Triebkraft sein. Aber

[1] Ich setze hier den Bau der Froschhaut als bekannt voraus, wie er von Aschersон (Joh. Müller's Archiv für Anatomie und Physiologie u. s. w. Jahrgang 1840. S. 15*) und von J. N. Czermak (Ebendas. Jahrgang 1849. S. 252*) beschrieben worden ist.

Digitized by Google

weiter als bis zu diesem Schlufs bin ich nicht vorgedrungen. Ich vermag, auch mit Hülfe der Kenntnifs der alkalischen Natur der Hautoberfläche und der sauren Beschaffenheit des Drüseninhalts, mir keine irgend läfsliche Vorstellung zurechtzulegen über den Ursprung jener Triebkraft und ihre schnelle Vergänglichkeit unter dem Einfluls der Salzlösungen, der Säuren und Alkalien.[1] Was aber die Schwierigkeit, eine solche Vorstellung zu ersinnen, auf das Höchste treibt, ist die verhältnifsmäfsig ganz ungemeine Gröfse, die man der fraglichen Triebkraft zuzuschreiben genöthigt ist, wie aus folgenden Versuchen hervorgeht. Benetzt man einen dicken Hülfs- oder Zwischenbausch zur einen Hälfte mit verdünnter Salpetersäure, zur anderen mit verdünnter Kalihydratlösung, und berührt man die ungleichartigen Hälften des Bausches mit den Salzbäuschen, so erhält man, wegen der Kochsalzlösung als Zuleitungsflüssigkeit, einen Strom in der Richtung von der Säure zum Alkali in der Flüssigkeit.[2] Der Ausschlag, den dieser Strom erzeugt, ist aber bei weitem nicht so stark, als der bei ungleichzeitiger Berührung der Froschhaut mit den Salzbäuschen in den meisten Fällen. Ja erst bei Anwendung der unverdünnten käuflichen Salpetersäure und einer höchst concentrirten Kalihydratlösung schlägt die Nadel an die Hemmung. Anschlagen an die Hemmung findet aber fast regelmäfsig statt beim Anlegen sogar von Wasserbäuschen an zwei Hautstellen, von denen die eine wirksam, die andere entweder künstlich unwirksam gemacht ist oder der inneren Hautfläche angehört. Nun ist es keine Frage, dafs der mit den ungleichartigen Flüssigkeiten benetzte Bausch eine unvergleichlich gröfsere Leitungsfähigkeit besessen habe, als die Froschhaut vollends mit den Wasserbäuschen. Die Froschhaut leitet gerade so schlecht, als es sich bei der Natur der sie durchdringenden thierischen Flüssigkeiten erwarten läfst. Ich nahm einst, zu einem andern Zwecke, ein Stück Schweinsblase, weichte es in Hühnereiweifs auf und schnitt daraus und aus Froschhaut zwei Streifen von gleicher Länge und Breite. Die Streifen legte ich auf eine Glasplatte und liefs abwechselnd die Enden des einen und des anderen in zwei Gefäfse mit gesättigter schwefelsaurer Kupferoxydlösung tauchen, in denen die Kupferelektroden einer Grove'schen Kette enthalten waren. In den Kreis schaltete ich die halbe Länge des Museumsmultiplicators ein (S. oben Bd. I. S. 202), dessen Empfindlich-

[1] Fast wird man verleitet, sich hier jener vielbesprochenen Hypothese Thomas Young's zu erinnern, der sich dachte, dafs die Absonderungen unter dem Einfluls elektrischer Ströme ihre saure oder alkalische Beschaffenheit erhalten. (S. oben Bd. I. S. 26. 109. 487.)

[2] Vergl. Fechner in Poggendorff's Annalen u. s. w. 1839. Bd. XLVIII. S. 235.

Digitized by Google

keit mit Hülfe eines Melloni'schen Berichtigungsstabes gehörig herabgestimmt war. Der Widerstand des Streifens Blase und der des Streifens Froschhaut wurden fast genau gleich gefunden. Mit der Blase stellte sich die Nadel auf 19°.5, mit der Haut auf 19°.7 ein. Der Strom war völlig beständig, und ich überzeugte mich, indem ich mit Hülfe einer Wippe abwechselnd die Kette und den Multiplicator in den Kreis der Kupferelektroden brachte, dafs, trotz der durch die Gröfse des Gesammtwiderstandes bedingten Schwäche des Stromes, keine Ladungen sich entwickelten (Vergl. oben Abth. I. S. 149). Es folgt, dafs die Triebkraft, welche den fraglichen Strömen zu Grunde liegt, unvergleichlich gröfser sein müsse, als die in der Wechselwirkung der Salpetersäure und der Kalihydratlösung zwischen Kochsalz als Zuleitungsflüssigkeit hervortritt.

Ein Paar anderweitige Bemerkungen, die ich über die fraglichen Ströme gemacht habe, tragen zur Aufklärung der hier obschwebenden Fragen nichts Wesentliches bei. Eine halbe Minute, eine ganze Minute, zwei Minuten lang fortgesetzter Aufenthalt in siedendem Wasser vermindert zwar die Stärke der Wirkungen, läfst sie aber sonst unverändert. Fünf Minuten langes Kochen macht ihnen völlig ein Ende. Bei diesem Versuch mufs man die Haut gegen ein Brettchen binden, weil sie sich sonst einrollt. Haut, die erst an der Luft, dann 48 Stunden über Schwefelsäure getrocknet und dann wieder in Wasser aufgeweicht worden war, zeigte nur noch eine Spur der Wirkungen, aber im richtigen Sinne. Haut von einem faulenden Frosche zeigte keine Spur mehr davon. Hebt man lebende Frösche, deren Hautoberfläche durch Benetzung mit Kochsalzlösung unwirksam gemacht war, in Wasser auf, so findet man sie nach einiger Zeit wieder wirksam. Frösche, welche lange in der Gefangenschaft gefastet haben, geben ungleich schwächere Hautströme, als frisch eingebrachte.

Die hier in Rede stehenden elektromotorischen Wirkungen der Haut werden wohl im Spiel gewesen sein in den von Pfaff, Johannes Müller und mir beobachteten Fällen, in denen die Zuckung ohne Metalle nur erfolgte, wenn die Stelle des Unterschenkels, gegen die der Nerv umgebeugt wurde, noch mit der Haut bekleidet war (S. oben Bd. I. S. 101. 102. 476). Ob die von Valentin beobachteten Ausschläge beim Anlegen metallischer Multiplicatorenden an verschiedene Punkte der Oberfläche des Frosches hieher gehören, läfst sich, bei der gänzlichen Untauglichkeit seiner Versuchsweisen, nicht mit Bestimmtheit ermitteln (S. oben Bd. I. S. 129 ff.).

Nach dem hier Dargelegten ist nun auch das oben Abth. I. S. 202 von den elektromotorischen Wirkungen der Haut Gesagte zu ergänzen.

Digitized by Google

4. Erklärung, mit Hülfe des jetzt erkannten Gesetzes der Hautungleichartigkeiten, des elektromotorischen Verhaltens des lebenden oder todten, äufserlich unversehrten Frosches, wie auch seiner nicht enthäuteten Gliedmafsen.

Wir lassen nun die Hautungleichartigkeiten des Frosches auf sich beruhen, mit um so mehrerem Rechte, als es ja überhaupt noch fraglich ist, in wie weit die dadurch bedingten Ströme unter unsere Begriffsbestimmung der physiologischen Elektricität gehören (S. oben Bd. I. S. 4. 132. 133. 146). Wir beschäftigen uns nicht mit der Hautabsonderung die nackten Amphibien; das aber, was wir behufs unserer eigentlichen Untersuchung von den Hautströmen hier zu wissen brauchten, haben wir längst in Erfahrung gebracht (S. oben S. 11).

Wir sind zu dem Ergebnifs gelangt, dafs man bei ungleichzeitigem Anlegen der Salzbäusche an die Hautoberfläche des Frosches nirgends bestimmte Strömungsrichtungen entdeckt. Die vorgebildeten Unterschiede der Triebkraft in die Haut hinein, die man mittelst der Wasserbäusche an den verschiedenen Stellen erkennt, verschwinden, bei Anwendung der Salzbäusche, alsbald gegen den Unterschied, der durch die vernichtende Einwirkung der Lösung auf das elektromotorische Vermögen, zu Gunsten der Triebkraft an der jüngsten Berührungsstelle, erzeugt wird. Bei genau gleichzeitiger Berührung zwar müfste man dieselben vorgebildeten Unterschiede, die die Wasserbäusche zeigen, auch mit den Salzbäuschen erkennen; allein so schnell scheint die Wirkung der Kochsalzlösung vor sich zu geben, dafs, ehe der vorgebildete Unterschied der Triebkräfte an beiden Stellen merklich hat auf die Nadel einwirken können, beide Triebkräfte, und somit auch ihr Unterschied, zu einem ohnmächtigen Bruchtheil ihrer ursprünglichen Gröfse herabgesunken sind.

Wie kam es nun aber dafs, diesen Thatsachen scheinbar zum Trotz, in unseren obigen Versuchen am lebenden oder todten, äufserlich unversehrten Gesammtfrosche, am nicht enthäuteten Galvani'schen Präparate oder Unterschenkel, oder endlich am Galvani'schen Präparate des lebenden Frosches; dafs hier in den meisten Fällen absteigende, in einigen Fällen kaum merkliche, endlich in noch anderen, seltenen Fällen aufsteigende Ströme sich kundgaben? Folgendes ist die einfache Lösung dieses Räthsels.

Bei allen diesen Versuchen führt es die bequeme Handhabung der thierischen Theile auf den Zuleitungsgefäfsen ganz von selber herbei, dafs man die Füfse zuerst, den oberen Theil des Präparates aber zuletzt mit der Salzlösung des entsprechenden Multiplicatorendes in

Digitized by Google

Berührung bringt. Für den Gesammtfrosch, sowohl den lebenden als den todten und für das Galvani'sche Präparat ist oben Bd. I. S. 464. 466 sogar ausdrücklich die Vorschrift gegeben worden, zuerst die Füfse in das eine Zuleitungsgefäfs zu tauchen, und dann den Kopf oder das Becken rücklings in's andere Gefäfs zu überbeugen. Was den Unterschenkel betrifft, so hängt die Haut des Oberschenkels, die man daran lassen soll (S. oben S. 7), bei wagerechter Haltung vom Knie niemals so tief herab, als am unteren Ende die Zehenspitzen reichen, so dafs, bei wagerechtem Herabsenken des Schenkels, die Zehen früher als die Oberschenkelhaut zur Berührung der Kochsalzlösung kommen. Endlich bei der Untersuchung des Galvani'schen Präparates mittelst des Sattelbausches ist es weit bequemer, zuerst die Füfse durch Neigung des Rahmens nach hinten in das entsprechende Zuleitungsgefäfs zu tauchen, und dann erst dem Frosch den Sattelbausch aufzulegen, als die entgegengesetzte Ordnung zu befolgen. Daher in allen diesen Fällen die vorwiegend absteigenden Wirkungen. Aufsteigende Ausschläge wurden nur dann erhalten, wenn einmal zufällig das obere Ende des thierischen Theiles vor dem unteren eingetaucht wurde. Doppelsinnig aber fielen die Wirkungen dann aus, wenn, nachdem bereits durch ungleichzeitiges Eintauchen Schlufs der Kette erfolgt war, das erst benetzte Ende plötzlich durch tieferes Eintauchen in weiterer Ausdehnung benetzt wurde und dadurch die Rolle des letzteingetauchten überkam. Endlich in den Fällen, wo die nicht enthäuteten thierischen Theile sich beim ersten Schliefsen zum Kreise stromlos verhielten, war zufällig das Eintauchen beider Enden nahe gleichzeitig geschehen; aber entweder war das obere Ende etwas später eingetaucht worden als das untere, oder es entstand trotz dem gleichzeitigen Eintauchen beider Enden oder gar dem späteren Eintauchen des unteren Endes, wegen vorgebildeter Unterschiede der Triebkräfte an beiden Enden, eine Wirkung in absteigendem Sinne; diese Wirkung und der unter der Haut in aufsteigendem Sinne schwach thätige Muskelstrom hoben einander an der Multiplicatornadel auf.

Dafs diese Erklärung der Erscheinungen wirklich die richtige sei, geht zweifellos daraus hervor, dafs man nunmehr, mit den aus dem Obigen sich ergebenden Regeln, in Stand gesetzt ist, die vermeintliche Gesetzlosigkeit der Erscheinungen zu beherrschen und diese nach Willkür hervorzurufen. Man kann also z. B. ein nicht enthäutetes Galvani'sches Präparat nach Belieben aufsteigend oder absteigend wirken lassen, je nachdem man das Becken oder die Füfse zuerst eintaucht, oder es nahezu unwirksam erscheinen lassen, indem man das Becken nur einen Augenblick nach den Füfsen in das entsprechende Zuleitungs-

Digitized by Google

Gefäfs versenkt. Taucht man einen nicht enthäuteten Frosch mit beiden Beinen rittlings in die Zuleitungsgefäfse ein, so ist stets der Strom aufsteigend in dem zuletzt eingetauchten Beine. Taucht man das andere tiefer ein, so erscheint er aufsteigend in diesem. Taucht man beide Beine gleichzeitig ein, so ist der Strom Null u. s. f.

Nichts ist jetzt leichter, als nun sofort, ohne jede Trübung durch die Hautungleichartigkeiten, den Muskelstrom am nicht enthäuteten Thier, gleichviel ob lebend oder todt, und gleichviel ob ganz oder zerstückt, in der Weise hervortreten zu lassen, wie es uns oben S. 8. 9 immer erst nach mehrfachem Tasten, und ohne zu wissen wie, gelang. Dazu ist nur nöthig, die Stellen der Hautoberfläche des Frosches, von denen man den Muskelstrom ableiten will, zuvor mit Kochsalzlösung zu bepinseln. Dadurch vernichtet man, wie uns jetzt bekannt ist, das elektromotorische Vermögen der Haut, und die Wirkungen, die man alsdann noch wahrnimmt, sind allein auf Rechnung der unter der unwirksamen Haut wirksamen Muskeln zu bringen. Bei den einzelnen, nicht enthäuteten Gliedmafsen kann man mit Vortheil auch so zu Werke gehen, dafs man sie auf die Zuleitungsgefäfse legt, während diese noch mit dem Schliefsungsrohr überbrückt sind. Der Widerstand des Schliefsungsrohres ist klein genug im Vergleich zu dem des Multiplicatorkreises, um keinem merklichen Bruchtheil der Hautströme den Eintritt in diesen Kreis zu gestatten. Hebt man nach einiger Zeit das Schliefsungsrohr ab, so findet man den Ausschlag im Sinne des Muskelstromes ungetrübt vor.

5. Von der Entwickelung des Muskelstromes nach dem Enthäuten.

Wir haben nunmehr, und unstreitig dürfen wir dies als ein Ergebnifs von der gröfsten Bedeutung hervorheben, die Gewifsheit erlangt, dafs der Muskelstrom am lebenden oder todten, äufserlich unversehrten Frosche, wie auch an seinen nicht enthäuteten Gliedmafsen, wirklich bereits erkennbar sei, nur dafs seine Stärke eine geringere zu sein scheint, als an den enthäuteten Präparaten, mit denen wir uns bisher allein beschäftigt hatten.[1] Jetzt ist es an der Zeit, diesem letzteren

[1] S. bereits meinen »vorläufigen Abrifs« in Poggendorff's Annalen u. s. w. Januar 1843. Bd. LVIII. S. 2. §. 3: »Das Spannung setzende elektromotorische Moment »ist auch im nicht enthäuteten Frosch zugegen. Derselbe zeigt den Strom in der »nämlichen Richtung, allein in viel geringerem Grade als der enthäutete...« S. 3. §. 4: »Auch der lebendige, ganz unversehrte Frosch zeigt den Strom in derselben »Stärke, als der eben getödtete nicht enthäutete, und immer in derselben Richtung.«

Digitized by Google

Umstande, der gröfseren Schwäche des Muskelstromes nämlich bei Gegenwart der Haut, unser Augenmerk zuzuwenden. Es liegt nahe, den Grund dieses Verhaltens darin zu suchen, dafs nach allem Ermessen die Haut in Bezug auf den Multiplicatorkreis für den Muskelstrom eine schwächende Nebenschliefsung abgeben mufs. Auch ist es leicht, enthäutete Gliedmafsen dadurch stromlos erscheinen zu lassen, dafs man sie gleichsam mit einer THEDEN'schen Einwickelung aus einem schmalen, mit verdünnter Kochsalzlösung u. d. m. getränkten Bande umgiebt.[1] Doch scheint es, bei fernerer Erwägung, und in Rücksicht auf die schlechte Leitungsfähigkeit der Haut (S. oben S. 19. 20), kaum denkbar, dafs wirklich die Haut im Stande sein sollte, den Muskelstrom in dem Mafse durch Nebenschliefsung zu schwächen. Es hält nun in der That nicht schwer, den Beweis zu führen, dafs die Gegenwart der Haut das Hervortreten des Stromes noch in anderer Art verhindere, als indem sie eine Nebenschliefsung bildet. Dieser Beweis liegt darin, dafs, wenn man einem Unterschenkel oder einem GALVANI'schen Präparate, nachdem man sie enthäutet und ihren Strom beobachtet hat, die Haut wieder überzieht, der Strom meist sehr viel stärker zu bleiben pflegt, als er vor dem Abziehen der Haut war.

* Dieser merkwürdige Versuch, einer der ersten, welche ich angestellt habe, findet sich gleichfalls bereits in meinem »*vorläufigen Abrifs*« a. a. O. S. 14. §. 38. Es wird wohl nicht leicht Einer, beim ersten Anblick, sich vor dem Kreise von Muthmafsungen zu bewahren wissen, in den ich selber damals durch diesen Versuch gelockt und für Jahre festgebannt wurde, bis mich eine spätere Wendung der Untersuchung daraus befreite. Wenn das Abziehen der Haut, das Freilegen der Oberfläche der Muskeln den bis dahin nur schwach vorhandenen Strom plötzlich zu steigern im Stande ist; wenn die beiden einzigen Mittel, die wir, abgesehen von dem dunklen Erfolge bei der Zusammendrückung (S. oben Abth. I. S. 139), bisher kennen gelernt haben, um die elektromotorische Kraft der Muskeln zu vergröfsern, eben ihr Freilegen und das lange Liegen der nicht enthäuteten Gliedmafsen an der Luft sind (S. oben S. 9); wenn am lebenden unversehrten Frosche hingegen dies letztere Mittel fehlschlägt (S. oben ebendas.): welcher andere Schlufs bleibt scheinbar da übrig, als dafs der Strom auf nichts beruht als auf einer oberflächlichen Wechselwirkung des Sauerstoffes der atmosphärischen Luft mit den Muskeln, die entweder nur an den noch nicht todtenstarren Muskeln stattfinden kann,

[1] S. meinen »vorläufigen Abrifs« a. a. O. S. 14. §. 38. — Vergl. oben Bd. I. S. 688. Bd. II. Abth. I. S. 50. 551.

Digitized by Google

oder, da man ja blafsgelbe Gesichtsmuskeln sich noch nach Lösung der Todtenstarre während der Zurichtung röthen sieht, wenigstens nur an noch nicht todtenstarren Muskeln einen elektromotorischen Gegensatz bewirken mag; einen Gegensatz, der im Zustande des unversehrten Lebens fortwährend durch die vegetative Thätigkeit im Muskel verwischt und auf einer bestimmten Stufe niedergehalten würde. Dieselbe Annahme müfste natürlich auch auf die Nerven ausgedehnt werden.

Bei näherer Erwägung freilich stöfst diese Annahme auf grofse Dunkelheiten. Erstlich ist es sehr schwer, sich vorzustellen, dafs durch eine solche Wechselwirkung sollte ein Gegensatz des Längsschnittes und des natürlichen sowohl als künstlichen Querschnittes stattfinden. An die Hypothese, die ich in Bezug hierauf in dem »*vorläufigen Abrifs*« aufgestellt hatte,[1] ist jetzt, bei dem erweiterten Stande unserer Kenntnifs, begreiflich nicht mehr zu denken. Ferner erinnert man sich, dafs die Gerlach'sche Leere, und die athembaren und nicht athembaren Gasatmosphären den Strom unverändert lassen (S. oben Abth. I. S. 187. 192). Drittens würden doch, bei der fraglichen Annahme, die Bewegungserscheinungen des Muskel- sowohl als des Nervenstromes vollständig räthselhaft bleiben. Legt man endlich ein nicht enthäutetes, im Oberschenkel abgeschnittenes Froschbein dergestalt auf die Bäusche der Vorrichtung auf, dafs auf der einen Seite der künstliche Querschnitt, auf der anderen etwa das noch mit der Haut überzogene Knie berührt, so erhält man einen Strom in der gesetzmäfsigen Richtung von solcher Heftigkeit, wie ihn das enthäutete Galvani'sche Präparat nur zu geben im Stande sein würde. Es müfste also jedenfalls der Querschnitt sein, auf den die atmosphärische Luft verändernd einwirkte, um den elektromotorischen Gegensatz zu erzeugen; eine Folgerung von höchster Unwahrscheinlichkeit, insofern der natürliche Querschnitt auch am enthäuteten Präparat ja noch stets durch einen sehnigen Ueberzug vor der Berührung der Luft geschützt ist.

Trotz diesen und ähnlichen Gründen, welche gegen die erwähnte Vorstellungsweise sprechen, habe ich mich, wie bemerkt, doch lange Zeit nicht von ihr losmachen können. Ich wufste jenes vermeintliche Experimentum crucis nicht anders zu erklären, als auf diese Weise, und ich beugte mich seinem Gewichte grundsätzlich um so williger, je mehr, den daraus entnommenen Folgerungen gegenüber, die Bedeutung der thierisch-elektrischen Ströme gefährdet schien. Der methodische Fortschritt der Untersuchung aber schien hier zunächst abgeschnitten. Denn das Einzige, was vor der Hand zu thun blieb, war die Unter-

[1] A. a. O. S. 22. §. 58.

Digitized by Google

suchung, welche Umstände die scheinbare Entwickelung des Stromes nach dem Abziehen der Haut beschleunigen oder verzögern. Auf diese Umstände konnte aber deshalb nicht untersucht werden, weil die Entwickelung nach dem Abziehen ja mit reifsender Schnelligkeit, im Verlaufe weniger Secunden, vor sich zu gehen schien, so dafs nicht daran zu denken war, diesen Vorgang zum Gegenstand einer weiteren experimentellen Prüfung zu machen.

In dieser Rathlosigkeit verharrte ich, bis ein glücklicher Zufall von einer ganz anderen Seite der Untersuchung her mir dadurch zu Hülfe kam, dafs er mich lehrte, jenen Entwickelungsvorgang scheinbar nach Willkür zu verlangsamen. Das Mittel dazu fand ich in dem Einfluſs dauernder Temperaturerniedrigung auf die Muskeln des Frosches. Der folgende Paragraph ist bestimmt, dem Leser diese neue Reihe von Thatsachen aus dem Gebiete der elektrischen Muskelphysik vorzuführen, und dabei das Räthsel zu lösen, das uns in diesem Paragraphen von der Natur aufgegeben ist.

---

§. II.

Von dem Einfluſs dauernder Erkältung der Frösche auf den Muskelstrom, dem **parelektronomischen** Zustande der Muskeln, der besonderen Anordnung der elektromotorischen Kräfte am natürlichen Querschnitt des Muskels und der Ursache der scheinbar durch das Enthäuten bewirkten Verstärkung des Muskelstromes.

Die Forschungen dieses Paragraphen nehmen, wie am Schlusse des vorigen angedeutet wurde, ihren Ausgang von der Beobachtung des Einflusses, den die dauernde Erkältung der Muskeln auf ihren Strom ausübt. Es ist dieses Kreises von Erscheinungen bereits oben Abth. I. S. 171. 181 gedacht worden, als an dem Orte, wo wir uns mit dem Verhalten des Stromes verschiedenen physikalischen Einflüssen gegenüber beschäftigten. Es wurde damals nicht darauf eingegangen, einestheils weil wir uns dadurch zu weit von dem Ziel entfernt haben würden, das wir gerade im Auge hatten, anderentheils weil es uns noch an der Kenntnifs der Bezüge gebrach, welche dieser Untersuchung eine so hervorragende Wichtigkeit verleihen. Jetzt sind wir so weit

Digitized by Google

gekommen, dafs wir uns dieser Untersuchung sogar nicht länger entschlagen können, und wir beginnen sie demnach, indem wir zuvörderst uns von dem unterrichten, was unsere Vorgänger in diesem Gebiete bereits geleistet haben mögen.

1. Matteucci's und Cima's Angaben über die Wirkung der Kälte auf den Muskelstrom.

Einige höchst abentheuerliche Behauptungen Matteucci's betreffend den Einfluſs der Kälte auf den Froschstrom finden sich schon in seinen ersten Arbeiten über diesen Gegenstand vor und sind oben Bd. I. S. 118. 124 berücksichtigt worden, wo man von ihnen Kenntniſs nehmen kann. Einige Augenblicke langes Bedecken des Frosches mit einem Stück Eis solle ihn des Stromes berauben; dieser solle wiederkehren, wenn man dem Frosch Sauerstoff in die Lungen blase! Im *Essai etc.* p. 82 *heiſst* es sodann: »Nous avons trouvé qu'une grenouille vivante refroidie, »perd la faculté de se contracter par son courant propre, et qu'elle »la reprend lorsqu'on la réchauffe, pourvu qu'on ne l'ait pas refroidie »trop longtemps. Je me suis assuré que, toutes les fois qu'on fait »perdre à une grenouille la faculté de se contracter par son courant, »en la tenant dans la glace pendant quelques minutes, elle perd aussi »la faculté de donner la déviation au galvanomètre. Ce n'est donc »pas l'activité nerveuse qui manque, c'est vraiment le courant.....« (S. oben Bd. I. S. 121). Dies war nachmals einer der Beweise, die Matteucci sich die Mühe gab, für die Einerleiheit der Ursache der Zuckung ohne Metalle und der Multiplicatorablenkung durch den Frosch beizubringen (S. oben Bd. I. S. 478. Bd. II. Abth. I. S. 167).

Matteucci's spätere Untersuchungen über diesen Punkt sind wieder doppelt angestellt, d. h. sie beziehen sich wieder getrennt die einen auf den Froschstrom, die anderen auf den, in seiner Einbildung, davon verschiedenen Muskelstrom (Vergl. oben Abth. I. S. 167).

I. Froschstrom. An einem lebenden Frosche wird der Ischiadnerv blosgelegt, die Haut von den Beinen gezogen, und durch Zurückbeugen des Nerven gegen die Muskeln die Zuckung ohne Metalle beobachtet; eben so die Multiplicatorablenkung, es wird nicht recht gesagt, auf welche Weise. Der Frosch wird mit Eis umgeben, und nach wenigen Minuten erhält man keine Zuckung mehr; auch die Ablenkung erscheint geringer. Wird der Frosch aus dem Eise genommen und in Wasser von 15 — 20° C. gethan, so kehrt der Strom zurück. Dies läfst sich mehrmals an einem und demselben Thiere wiederholen. — Zwei Säulen,

Digitized by Google

aus zehn Froschbeinen jede, deren eine aber Fröschen angehörte, welche eine Stunde lang in Wasser von 2° C. gehalten worden, gaben, einander entgegen, einen Differentialstrom von 15°.[1]

II. Muskelstrom. In einem Schreiben an v. Humboldt vom Januar 1843 sagt Matteucci: »J'ai trouvé, pour tous les animaux »à sang chaud comme pour ceux à sang froid, que le refroidisse»ment affaiblit considérablement, et quelquefois fait disparaître, les »signes du courant musculaire, et principalement pour les pre»miers.«[2]

Im *Traité etc.* finden sich darüber folgende Angaben. Frösche, welche in der kälteren Jahreszeit lange einer niedrigen Temperatur ausgesetzt gewesen seien, gäben einen viel schwächeren Muskelstrom als sonst. So z. B. sank, im November 1842, das Thermometer zu Paris auf 0° und darunter. Die Frösche, die Matteucci zu seinen Versuchen von der Fischhalle holen liefs, gaben fast gar keinen Muskelstrom mehr, während andere, die in einem warmen Zimmer im Pflanzengarten aufbewahrt worden waren, ihn wie gewöhnlich zeigten. Thue man Frösche in ein Gefäfs mit Wasser, umgebe dies mit Eis und bestreue das Eis mit Kochsalz, so werden die Thiere nach wenigen Minuten regungslos und scheintodt; sie sterben wirklich, wenn man sie in der Kälte lasse. Nach 15—20′ jedoch könne man sie noch retten, wenn man sie in lauwarmes Wasser bringe. Eine zehngliederige Säule aus den querdurchschnittenen Oberschenkeln von Fröschen, welche 30′ lang in Wasser unter Null (»dans l'eau froide au-dessous de zéro« ?!) gehalten worden waren, wurde einer anderen entgegengesetzt, die unter den gewöhnlichen Umständen bereitet war. Es erfolgten 35—40° Ausschlag im Sinne der letzteren. Einzeln gab diese 45°, die aus den erkälteten Fröschen nur 15—16°. Habe die Erkältung nicht eine gewisse Zeit lang gedauert, so finde keine merkliche Schwächung statt. Dasselbe Ergebnifs fand Matteucci für Fischmuskeln bestätigt; eine viergliederige Säule aus Stücken eines Schleyes (tanche), der einige Zeit bei 0° aufbewahrt worden, gab 5° Ausschlag, eine Säule aus eben so viel Gliedern von einem auf 12°C. gehaltenen Thier 12°. Auf den Muskelstrom warmblütiger Thiere habe die Erkältung keinen merklichen Einfluſs. Die Muskeln einer 30′ in Luft von — 2° bis — 3° gehaltenen Taube wirkten nicht schwächer als die einer nicht erkälteten. Der obigen völlig entgegengesetzten Angabe (»prin-

[1] Traité etc. p. 111. 112.

[2] Comptes rendus etc. 23 Janvier 1843. t. XVI. p. 197; — L'Institut. t. XI. No. 475. p. 36.

Digitized by Google

cipalement pour les premiers«) aus den *Comptes rendus* wird dabei natürlich nicht gedacht. Frösche, welche erst schnell erkältet worden, dann nach einigen Minuten Aufenthalt in der Kälte in Wasser von 15° gebracht worden seien, sollen einen stärkeren Muskelstrom geben als solche, die keiner Temperaturveränderung ausgesetzt wurden, was wiederum im grellsten Widerspruch mit der Behauptung im *Essai etc.* steht, ohne daſs ein Wort gesagt würde, um diesen Widerspruch aufzuklären. Matteucci schlieſst: »Il faut donc que »l'action du froid se prolonge sur les grenouilles pendant un temps »suffisamment long, afin d'affaiblir l'intensité du courant musculaire. »Cette action du froid est d'autant moins grande que l'animal appar»tient à un rang moins élevé dans l'échelle.«[1] Also nun fällt Matteucci wieder in die erste Angabe der *Comptes rendus* zurück; es sollen wieder die warmblütigen Thiere stärker die Wirkung der Kälte erfahren!

Vom November 1844 bis zum März 1845 erhielt Matteucci zweimal wöchentlich Frösche aus einem Sumpf in der Umgegend von Pisa. Ein Theil dieser Frösche wurde stets in ein kleines Zimmer von 16° beständiger Temperatur gebracht und in einem Glase trocken aufbewahrt. Eine gleiche Anzahl wurde auf der Terrasse der meteorologischen Warte der zeitigen Lufttemperatur ausgesetzt, und vier Frösche ebendaselbst in eine Vorrichtung gebracht, welche die Schätzung der nach einer gewissen Zeit gebildeten Kohlensäuremenge zuliefs. Auf diese Weise suchte Matteucci, wovon nachmals die Rede sein wird, einen Zusammenhang zwischen der Temperatur, der Lebhaftigkeit des Athmungsvorganges und der Stärke des Muskelstromes zu erkunden. Es wurde stets der Strom einer zwanziggliederigen Säule aus halben Oberschenkeln geprüft, welcher bei mittlerer Temperatur 90° Ausschlag und ungefähr 20° beständige Ablenkung zu geben pflegte. In den kältesten Tagen des Winters (die Temperatur ist nicht angegeben) gab eine solche Säule nur 32° Ausschlag; dann, wie allmälich die Witterung wärmer wurde, 38°, 48°, 50°, 56°, 60°, 66°; zu Anfang 0° beständige Ablenkung, jetzt 8°. Endlich, als im März die Schattenwärme 15°C. erreichte, zeigte die Säule 80°, 85°, 90° Ausschlag. Durch Halten in wärmerer Luft wird der Muskelstrom erkälteter Frösche erhöht. Nachdem die Frösche, aus denen eine Säule der beschriebenen Art nur 32° Ausschlag gab, zwei Tage lang warm gehalten worden waren, erfolgten

[1] Vgl. Annales de Chimie et de Physique. Avril 1843. 3. Série. t. VII. p. 442;* — Archives de l'Électricité. 1843. t. III. p. 21;* — Annales des Sciences naturelles. 1843. 2. Série. t. XIX. Zoologie. p. 328;* — Traité etc. p. 73.*

Digitized by Google

38° Ausschlag. Andere Frösche stiegen in gleicher Weise von 30°; 50°; 66° beziehlich auf 48°; 64°; 85°.[1]

In einer folgenden Abhandlung endlich bemerkt Matteucci, dafs die Wirkung der Kälte auf seinen sogenannten Froschstrom bedeutend gröfser sei als auf den Muskelstrom. Während im Frühling und Sommer an sehr kräftigen Fröschen der Froschstrom dem Muskelstrome gleichkomme oder gar ihn übertreffe[2], habe er bei sehr kalter Witterung den ersteren Strom stets schwächer als den letzteren gefunden.[3]

Auch Cima hat sich mit Versuchen der Art abgegeben. Er bestätigt, dafs der Einfluss der Kälte auf den Muskelstrom der kaltblütigen Thiere gröfser sei als auf den der warmblütigen. Es gehört, nach ihm, eine gewisse Anzahl kalter Tage dazu, damit die Wirkung auf den Muskelstrom der Frösche sichtbar werde. Aber ein warmer Tag, welcher auf eine Reihe kalter Tage folge, reiche häufig hin, die Frösche in ihren gewöhnlichen Zustand zu versetzen.[4] In Betreff des Umstandes, dafs der Einfluss der Kälte auf den sogenannten Froschstrom gröfser sei, als auf den Muskelstrom, hat aber Cima sogar das Erstenrecht vor Matteucci.[5] Seine Abhandlung ist im December 1844 der Akademie zu Bologna eingereicht, Matteucci's Abhandlung in den *Transactions* ist gezeichnet vom 7. April 1845 (Vergl. oben Bd. I. S. 127. 128).[6]

[1] Philosophical Transactions etc. For the Year 1845. P. II. p. 290.° — Vergl. unten, §. v.

[2] Vergl. unten, No. 11.

[3] Philosophical Transactions etc. For the Year 1845. P. II. p. 298.°

[4] Saggio storico-critico ec. Ivi, p. 487. 488.°

[5] Ivi, p. 509.°

[6] Cima sagt, ohne nähere literarische Belege mitzutheilen: »L'azione del freddo »e della fredda stagione nella facoltà della rana a presentare le contrazioni galva»niche« — d. h. die Zuckung ohne Metalle — »fu già notata dal Galvani, dall' »Humboldt e da altri. Fu trovato da questi fisici come le rane male si prestino »alle sperienze nell' inverno. All' azione del freddo sopra la cagione delle contra»zioni galvaniche è senza dubbio dovuto il fatto osservato dall Valli e dall' Hum»boldt, che l'acqua molto fredda e il ghiaccio non possono servire d'arco condut»tore per eccitarsi quelle contrazioni.« Ivi, p. 475.° — Die Stelle bei Valli. auf die sich Cima bezieht, heifst: »L'excès du froid prive l'eau même de la propriété »de conduire le fluide en question.« S. Richard Fowler, Experiments and Observations relative to the Influence lately discovered by M. Galvani, and commonly called animal Electricity. Edinburgh 1793. p. 22;° — Alexander Monro's und Richard Fowler's Abhandlung über thierische Elektricität u. s. w. Leipzig 1796. S. 63;° — Reinhold's Geschichte des Galvanismus u. s. w. Leipzig 1803. S. 41.° Fowler läugnet a. a. O. die Richtigkeit der Behauptung Valli's mit Recht in soweit, als nicht das Wasser zu trocknem Eise gefriert; er scheint die älteren Versuche über die Leitungsfähigkeit des Eises nicht zu kennen. v. Humboldt's Ver-

Digitized by Google

2. Von der Art, die Frösche zu erkälten, und von dem Einflusse der Erkältung auf das Allgemeinbefinden der Frösche.

Als ich, im Sommer 1842, zuerst unternahm, MATTEUCCI's Versuche über den Einfluſs der Kälte auf den Muskelstrom zu wiederholen, geschah dies allein auf Grund der Angaben im *Essai etc.* (S. oben S. 27). Ich nahm Gastroknemien vom Frosch und setzte sie bis 20′ lang verschiedenen Kältegraden von 0° bis −20° C. aus. Ich erhielt aber nur verneinende Ergebnisse. Entweder zeigte sich der Strom so gut wie unverändert, oder der Muskel ging todtenstarr, und alsdann auch unzusammenziehungsfähig und stromlos, aus der Kälte hervor. Die Art, auf welche ich dabei verfuhr, ist bereits oben Abth. I. S. 180 (11) beschrieben; die daselbst dargelegten Erfahrungen sind nämlich bei dieser Gelegenheit gewonnen. Bei der Ungewiſsheit, in der ich somit blieb, lieſs ich übrigens die ganze Angelegenheit in meinem »*vorläufigen Abriſs*« unerwähnt.

Später, im Winter 1843—1844, führte mich der Verfolg meiner Arbeiten von Neuem auf diesen Gegenstand zurück. MATTEUCCI hatte nunmehr die »quelques minutes« oder gar »quelques secondes« seiner ersten Behauptungen zu wenigstens 20—30′ ausgedehnt (S. oben S. 28). Ich bedurfte aber seiner Unterweisung nicht mehr; denn schon hatte ich selber die Erscheinung, ohne mein Hinzuthun, durch Witterungsverhältnisse bedingt nicht eben auf die angenehmste Art kennen gelernt, und zwar in viel gröſserem Maſsstabe als sie MATTEUCCI je begegnet zu sein scheint. Hr. POGGENDORFF erinnert sich vielleicht der Verlegenheit, in der ich mich, im October 1843, befand, als ich ihm den Froschstrom zeigen wollte und die Nadel, statt meiner Vorhersage

suche zeigen nur, daſs die Kälte die Zahl und Stärke der Herzschläge vermindert und ebenso die Leistungsfähigkeit der Nerven und Muskeln beeinträchtigt, wenn man diese mittelst ungleichartiger Metalle prüft (Versuche über die gereizte Muskel- und Nervenfaser u. s. w. Posen und Berlin 1797. Bd. II. S. 215 ff.). CAVALLO sagt hingegen, »die Kraft der Frösche werde nicht geschwächet, wenn man »sie in Wasser, das zu frieren anfieng, getödtet, oder, beym Präpariren, einige »Stunden auf Eis gelegt hatte.« (Vollständige Abhandlung der theoretischen und praktischen Lehre von der Elektricität u. s. w. Aus dem Englischen übersetzt u. s. w. Leipzig 1797. Bd. II. S. 291.*) Wie dem auch sei, man sieht, daſs, wenn nicht CIMA noch andere, mir unbekannte Quellen zu Gebote gestanden haben, es auf einer Begriffsverwirrung beruht, daſs er hier VALLI's und v. HUMBOLDT's Versuche anführt, da es sich in beiden Fällen gar nicht um Zuckungen durch den Froschstrom handelte, sondern um solche durch ungleichartige Metalle. Was die Stelle bei GALVANI betrifft, auf die CIMA anspielt, so habe ich sie, trotz aller Mühe, nicht ausfindig machen können.

Digitized by Google

gemäfs an die Hemmung zu fliegen, beim Auflegen mehrerer Thiere nach einander unbewegt auf dem Nullpunkt verharrte. Dies war, wie ich selber damals zum ersten Mal erfuhr, die Schuld der Kälte, der die Frösche während des Lebens ausgesetzt gewesen waren.

Seitdem habe ich, im Winter und Sommer, zu verschiedenen Zeiten eine grofse Anzahl von Versuchen über diesen Gegenstand angestellt. Im Winter setzte ich die Frösche eine hinreichende Zeit lang in einem Garten bei meiner Wohnung in den Schnee und bedeckte sie mit einem gleichfalls mit Schnee angefüllten Gefäfse. Neben dem Gefäfse wurde ein Rutherford'sches Minimumthermometer aufgestellt. Die Möglichkeit, diese Arbeiten aber auch in der warmen Jahreszeit fortsetzen zu können, verdankte ich gröfstentheils der bekannten, stets bereitwilligen Güte des Herrn Professor Gurlt, welcher mir den Gebrauch des Eiskellers der hiesigen Königlichen Thierarzneischule verstattete. Die Frösche befanden sich in einem weithalsigen Glase, das mit einem mehrfach durchbohrten Korke geschlossen war. Das Glas steckte ich in eine in das Eis ausgehauene Höhlung und deckte diese mit flachen Eisstücken zu.

Von der Länge der Zeit, während welcher die Einwirkung der Kälte dauern mufs, um die bald zu beschreibenden Veränderungen der elektromotorischen Thätigkeit hervorzurufen, wird nachmals die Rede sein. Zunächst mögen hier nur noch, um das Bild der Versuche abzurunden, einige Bemerkungen Platz finden über den Einfluss, den die fortgesetzte Erkältung auf das Allgemeinbefinden der Frösche äufsert. Matteucci hat hierüber, wie über fast alle Punkte dieses Gebietes, welche er berührt hat, die falschesten Vorstellungen mitgetheilt (S. oben S. 82). Nach seiner Beschreibung waren die Frösche nicht eingefroren; sie befanden sich nur in Wasser nahe dem Gefrierpunkte. Matteucci behauptet, dafs ein Aufenthalt darin von einer halben Stunde den Thieren tödtlich werden könne. Ich habe aber Frösche im Sommer wochenlang im Gletscher des Eiskellers gelassen, und nicht den mindesten Nachtheil davon für ihr Befinden gespürt.

Frösche, welche lange genug einer dem Gefrierpunkt nahen Temperatur ausgesetzt gewesen sind, verfallen in folgenden Zustand. Sie ziehen die Beine dicht an den Leib, schliefsen die Augen, deren Pupille verengt erscheint, die Athembewegungen sind kaum bemerkbar, die Haut nimmt eine dunkelbraune Färbung an. Reizt man sie auf, legt sie auf den Rücken u. d. m., so bewegen sie sich langsam aber kräftig, etwa wie ein Mensch, der sich nach dem Schlafe reckt und dehnt. Eine Viertel- bis eine halbe Stunde in mittlerer Temperatur zugebracht, ist hinreichend, sie wieder völlig zu ermuntern.

Digitized by Google

Tödtlich für die Frösche wird erst der Aufenthalt in einer Temperatur, bei der sie wirklich zu Eis gefrieren. Indessen kommen in dieser Hinsicht merkwürdige Dinge vor. Es sind viele Fälle berichtet, in welchen nicht nur, im Widerspruch mit dem oben Abth. I. S. 180. 181 Gesagten, steif gefrorne Gliedmafsen nach dem Aufthauen noch zuckungsfähig waren, sondern wo auch der Gesammtorganismus selber scheinbar unbeschädigt aus dem erstarrten Zustand hervorging. Ich selber habe Frösche noch wochenlang leben sehen, welche in einer Winternacht im Schnee des Gartens bei —8° Minimum der Luft vergessen, dermafsen gefroren waren, dafs der Bauch zum Theil steinhart anzufühlen war und dabei von Eisstückchen in seinem Inneren gleich Zinn schrie. Es scheint nicht unmöglich, dafs diese Abweichungen darauf beruhen, dafs die Flüssigkeiten zwischen den Elementartheilen der Gewebe, z. B. in den Muskeln zwischen den Primitivbündeln, früher zu Eis erstarren als die in jenen Theilen selber. So kann, bei einer gewissen Temperatur, die freilich zwischen engen Grenzen eingeschlossen sein mag, eine Gliedmafse steif gefroren erscheinen, ohne dafs die Gewebe selber es sind, deren Organisation also noch ungefährdet aus einer solchen Temperatur hervorgehen kann.[1]

[1] Folgendes ist die wichtigste Literatur über diesen Gegenstand, der methodisch fortgesetzter, genauerer Untersuchung wohl einmal werth wäre.

Lister in Joh. Goedartius de Insectis, in Methodum redactus; cum Notularum Additione. Opera M. Lister etc. Londini 1685. p. 76.* — Dufay in Histoire de l'Académie Royale des Sciences. Année 1729. Paris 1731. 4°. p. 144.* — Réaumur, Mémoires pour servir à l'Histoire des Insectes. t. II. p. I. Amsterdam 1737. p. 178.* — Jean Bell d'Antermony, Voyages depuis St. Pétersbourg en Russie, dans diverses contrées de l'Asie. Paris 1766. t. I. p. 319.* — Spallanzani, Opuscoli di Fisica animale e vegetabile. In Modena 1766. vol. I. p. 64—100;* — vol. II. p. 92. 212;* — Opuscules de Physique animale et végétale etc. Traduits par Senebier. Genève 1777. t. I. p. 76—119;* — t. II. p. 198. 335;* — Mémoires sur la Respiration, traduits par Senebier etc. Genève 1803. p. 132. 150. 192.* — John Hunter, Philosophical Transactions etc. For the Year 1775. P. II. p. 446;* — For the Year 1778. P. I. p. 27. 37;* — Versuche über das Blut, die Entzündung und die Schufswunden u. s. w. (1794.) Uebersetzt von Hebenstreit. Leipzig 1797. Bd. I. S. 179.* — Bonnet in Opuscules de Physique animale et végétale, par Mr. l'Abbé Spallanzani etc. Traduits par Senebier. Genève 1777. t. II. p. 13;* — Oeuvres d'Histoire naturelle et de Philosophie. t. VI. Neuchatel 1779. p. 12. Note 2.* — Caldani, Osservazioni sulla Membrana del Timpano e nuove Ricerche sulla Elettricità animale ec. In Padova 1794. p. 125.* — v. Sierstorpff, Ueber einige Insectenarten, welche den Fichten vorzüglich schädlich sind, und über die Wurmtrocknifs der Fichtenwälder des Harzes. Helmstedt 1794. S. 21.* — Anschel, Thanatologia etc. Goettingae 1795. p. 21.* — v. Humboldt, Versuche über die gereizte Muskel- und Nervenfaser u. s. w. Posen und Berlin 1797. Bd. II. S. 223. 224.* — Carlisle, Philosophical Transactions etc. For the Year 1805. P. I. p. 25.* — Kyber,

Digitized by Google

3. Erste Darlegung des Einflusses der dauernden Erkältung der Frösche auf ihren Muskelstrom.

Was sodann den Einfluſs der dauernden Erkältung auf den Strom betrifft, so ist, was Cima und Matteucci darüber berichten, im höchsten Grade mangelhaft und oberflächlich, wie sich dies alsbald aus folgender Darstellung ergeben wird, welche selber doch noch weit entfernt ist, den wirklichen Thatbestand ahnen zu lassen.

Es werde das Galvani'sche Präparat oder ein Bein eines erkälteten Frosches, oder auch der enthäutete Gesammtfrosch selber, wie zu Anfang des ersten Kapitels dieses Abschnittes gelehrt wurde, auf die Zuleitungsgefäſse gebracht, so sieht man nicht, wie es sein sollte, die Nadel in aufsteigender Richtung an die Hemmung fliegen, sondern entweder einen mehr oder weniger starken absteigenden Strom sieht man erfolgen, oder die Nadel bleibt auf Null, oder es ist wenigstens nur eine schwache Spur des gesetzmäſsigen aufsteigenden Stromes vorhanden.

in Germar's Magazin der Entomologie. 1. Jahrgang. Heft II. Halle 1815. S. 8.* — Pallas (MS), in Rudolphi's Grundrifs der Physiologie. Bd. I. Berlin 1821. S. 176.* — Verneur, Journal des Voyages, Découvertes et Navigations modernes; ou Archives géographiques du XIXe Siècle, etc. 1822. t. XVI. p. 130;* — Froriep's Notizen u. s. w. No. 69. (Bd. IV. No. 3.) Februar 1823. S. 37.* — Gaspard, in Magendie's Journal de Physiologie expérimentale etc. t. II. 1822. p. 295;* — Froriep's Notizen u. s. w. No. 66. (Bd. III. No. 22.) Januar 1823. S. 337.* — Franklin, Journey to the Shores of the Polar Sea in the years 1819, 20, 21 and 22. London 1823. 4°. p. 248;* — Froriep's Notizen u. s. w. No. 99. (Bd. V. No. 11.) September 1823. S. 170.* — Jahresbericht der schwedischen Academie der Wissenschaften über die Fortschritte der Naturgeschichte, Anatomie und Physiologie der Thiere und Pflanzen. Aus dem Schwedischen von Joh. Müller. 1824. Bonn 1826. S. 31.* — John Murray, Experimental Researches in natural History. London 1826. 12°. p. 148.* — Stickney, in Kirby and Spence, An Introduction to Entomology etc. Vol. II. 5. Ed. London 1828. p. 448.* — Tiedemann, Physiologie des Menschen. Bd. I. Darmstadt 1830. S. 468.* — Lenz, Schlangenkunde. Gotha 1832. S. 56.* — Ratzeburg, die Forst-Insecten, oder Abbildung und Beschreibung der in den Wäldern Preufsens und der Nachbarstaaten als schädlich oder nützlich bekannt gewordenen Insecten. Bd. I. Berlin 1837. 4°. S. 148.* — Gaimard, Bibliothèque universelle de Genève. Nouvelle Série. Mars 1840. t. XXVI. p. 207.* — Kürschner, Grundrifs der allgemeinen Physiologie. Herausgegeben von Rud. Wagner. Eisenach und Wien. 1843. S. 89.* — Barkow, der Winterschlaf nach seinen Erscheinungen im Thierreich u. s. w. Berlin 1846. Cap. VIII. S. 125 ff.* — Aug. Duméril, L'Institut. 1850. t. XVIII. No. 848. p. 108.* — Paget, in Philosophical Transactions etc. For the Year 1850. P. I. p. 221;* — Philosophical Magazine etc. 3. Series. vol. XXXVI. p. 541.* — C. Eckhard, Ueber die Einwirkung der Temperaturen des Wassers auf die motorischen Nerven des Frosches. Heidelberg 1850. S. 23.*

Digitized by Google

Jetzt legt man, nachdem man, wenn Strom in der einen oder der anderen Richtung zugegen war, die Ladungen getilgt und die Nadel beruhigt hat, den Frosch zum zweitenmale wieder auf, und nun findet man, dafs er an aufsteigender Wirksamkeit zugenommen hat. Entweder nämlich, wenn beim ersten Auflegen absteigender Strom erfolgt war, ist derselbe jetzt geringer, oder, wenn vorher die Nadel unbeweglich blieb, es ist jetzt eine Spur gesetzmäfsigen Stromes da, oder endlich, wenn diese bereits beim ersten Auflegen nicht vermifst wurde, findet man sie jetzt um ein Merkliches vergröfsert.

Beim dritten Auflegen hat das Präparat abermals an aufsteigender Wirksamkeit zugenommen, und so fort. Bei der fünften Prüfung erreicht der Strom jedoch häufig schon seinen oberen Grenzwerth. Um diesen beobachten zu können, darf man natürlich, falls nicht die Erkältung eine sehr heftige war, von dem Multiplicator für den Muskelstrom nur die halbe Länge benutzen, und auch zu dieser mufs man oft noch eine Nebenschliefsung anbringen, damit die letzte Entwickelung des Stromes nicht in zu hohen Breiten der Theilung vor sich gehe. Nichtsdestoweniger bleibt der Grenzwerth unter demjenigen der Ausschläge, welche man von nicht erkälteten Fröschen erhält, und zwar ist er unter Umständen beträchtlich kleiner.

Auf dem Grenzwerthe angelangt, hält sich der Strom einige Zeit, d. h. man erhält Ausschläge die, unstreitig in Folge von allerhand Zufälligkeiten beim Auflegen, nur um wenige Grade bald in dem einen bald in dem anderen Sinne unterschieden sind; dann fängt der Strom allmälig zu sinken an. Mit anderen Worten, die Erscheinungsweise des Stromes der erkälteten Frösche schliefst sich von hier ab völlig an die des Stromes der Frösche im Normalzustande.

Dies ist das elektromotorische Verhalten ganzer Gliedmafsen erkälteter Frösche, wenn man sie wie gewöhnlich behandelt, ohne Rücksicht zu nehmen auf gewisse Umstände, die wir später kennen lernen werden. Man kann aber die Erscheinung der allmäligen Entwickelung des Stromes auch an einzelnen unverletzten Muskeln beobachten. Schneidet man einen Gastroknemius, einen Extensor cruris aus einem erkälteten Frosche und legt ihn mit natürlichem Längs- und Querschnitt auf die mit Eiweifshäutchen bekleideten Bäusche auf, so erhält man mitunter einen Ausschlag in absteigendem Sinne, oft verharrt die Nadel unbewegt, meist ist schon eine Spur aufsteigenden Stromes vorhanden. Manchmal erhält man im ersten Augenblick einen absteigenden Ausschlag, aber gleich kehrt die Nadel um und beschreibt im positiven Quadranten einen gröfseren Bogen als vorher im negativen. Nicht selten bekundet das Verhältnifs beider Ausschläge, be-

Digitized by Google

kunden die negativen Ladungen, dafs eine Umkehr des Stromes zur positiven Richtung wirklich im ersten Auflegen stattgefunden habe. Anderemale bleibt die Nadel anfänglich unbewegt stehen und entfernt sich dann erst langsam vom Nullpunkt im positiven Sinne. Bei öfterem Auflegen sieht man endlich, wie allmälig der regelmäfsige aufsteigende Strom des Gastroknemius stufenweise in der nämlichen Art hervortritt, wie dies so eben von den Gliedmafsen des Frosches geschildert wurde. Auch hier bleibt der stärkste Ausschlag, welchen man erreicht, mehr oder weniger tief unter der gewohnten Wirkung eines Gastroknemius stehen. Verfährt man aber ebenso mit dem Gastroknemius eines GALVANI'schen Präparates oder eines Gesammtfrosches an dem sich der Strom bereits vollständig entwickelt hat, so findet man den Strom auch an dem einzelnen Gastroknemius oder Extensor cruris vollständig entwickelt vor.

Himmelweit verschieden gestalten sich die Dinge, sobald künstlicher Querschnitt in's Spiel kommt. Schneidet man einem erkälteten Frosche, dessen enthäutetes GALVANI'sches Präparat einen starken negativen Ausschlag geben würde, ein Bein im Oberschenkel ab, und legt es, wie oben S. 25, mit dem Gesammtquerschnitt des Oberschenkels einerseits, andererseits mit dem noch mit der Haut bekleideten Knie auf die Bäusche auf, so erhält man auf der Stelle einen Ausschlag von gröfster Heftigkeit in dem gesetzmäfsigen Sinne. Ebenso von einem enthäuteten, querdurchschnittenen Oberschenkel, der auf der einen Seite mit dem Querschnitt, auf der anderen mit dem Kniestumpf aufgelegt wird, einer demi-cuisse in MATTEUCCI's Weise (S. oben Bd. I. S. 529), und endlich von einzelnen querdurchschnittenen Muskeln, einem Adductor magnus oder Semimembranosus CUV. Nur in seltenen Fällen gelingt es, auch hier eine Spur fernerer Stromentwickelung in der Art wahrzunehmen, dafs noch der zweite Ausschlag den ersten um eine geringe Gröfse übertrifft. Die absolute Gröfse der Ausschläge erscheint aber freilich geringer als bei nicht erkälteten Fröschen.

Es obwaltet demnach hier ein ebenso ausgesprochener als bemerkenswerther Unterschied zwischen dem Verhalten des natürlichen und künstlichen Querschnittes. Während der Strom zwischen natürlichem Längs- und künstlichem Querschnitte stets schon völlig oder nahe ganz entwickelt vorgefunden wird, zeigt der Strom zwischen natürlichem Längs- und Querschnitt anfangs die umgekehrte Richtung, ist gleich Null oder wenigstens nur äufserst klein, und erhebt sich erst im Laufe des Versuches allmälig zu der Gröfse, die ihm in Verhältnifs zum Strom zwischen natürlichem Längsschnitt und künstlichem Querschnitt,

Digitized by Google

vermöge der Anordnung der Muskelbündelenden am natürlichen Querschnitt, zuzukommen scheint.

Im Gegensatz zu dem Unterschiede, der sich demgemäfs zwischen den beiden Arten des Querschnittes kundgiebt, fährt zwischen dem natürlichen und künstlichen Längsschnitte, hinsichtlich ihres elektromotorischen Verhaltens, die vollkommenste Uebereinstimmung zu herrschen fort. Gleich dem natürlichen Längsschnitt, giebt der künstliche in Verbindung mit dem künstlichen Querschnitt sogleich den ganz entwickelten Strom, in Verbindung mit dem natürlichen Querschnitt die allmälige Stromentwickelung. Man stellt den Versuch am Gastroknemius oder am Semimembranosus Cuv. an, und bedient sich dabei in hergebrachter Weise der gefensterten Glimmerblättchen (S. oben Bd. I. S. 629. Bd. II. Abth. I. S. 200. 258).

Was das Verhalten des Stromes erkälteter Muskeln bei anderen Arten der Ableitung, z. B. von beiden sehnigen Enden, oder von verschiedenen Punkten des Längsschnittes betrifft, so soll erst später davon die Rede sein.

Der absteigende Ausschlag, den man von stark erkälteten Präparaten beim ersten Auflegen mit natürlichem Querschnitt erhält, kann jetzt in der Bedeutung, die wir ihm zugeschrieben haben, verdächtigt erscheinen. Da nämlich, wie wir nun wissen, der Strom des künstlichen Querschnittes der Entwickelung nicht bedarf, so könnte man vermuthen, der absteigende Ausschlag rühre her von dem künstlichen Querschnitt des Ileo-Coccygeus Duc. am Beckenende des Präparates; er gehe durch Null hindurch in die entgegengesetzte Richtung über in dem Mafse, als nicht nur der Strom des natürlichen Querschnittes der verschiedenen Beinmuskeln sich entwickele, sondern auch die Wirksamkeit des künstlichen Querschnittes durch den Angriff der Zuleitungsflüssigkeit beeinträchtigt werde.

Es ist nicht unmöglich, dafs in dem Falle des Galvani'schen Präparates ein solches Widerspiel der Wirkungen beider Querschnitte, des natürlichen und des künstlichen, wirklich stattfinde, obschon doch zu bedenken ist, dafs die Salzlösung für den Strom des querdurchschnittenen Ileo-Coccygeus in Bezug auf den Multiplicatorkreis wahrscheinlich eine viel zu gute Nebenschliefsung abgiebt, als dafs noch eine Spur von jenem Strom an der Nadel sichtbar werden könnte. Wie dem auch sei, es mufs jedenfalls noch einen anderen Grund für den absteigenden Ausschlag geben. Denn erstens habe ich dergleichen Ausschläge auch von Galvani'schen Präparaten erhalten, deren Becken ich mit grofser Sorgfalt von jeder Spur verletzter Muskeln befreit hatte, welche also nirgends künstlichen Querschnitt darboten, der absteigend

Digitized by Google

hätte wirken können (Vergl. oben Bd. I. S. 460). Für's zweite zeigt es sich, wie oben bereits erwähnt wurde, dafs der Gesammtfrosch, ja sogar ein einzelner Gastroknemius oder Extensor cruris, im stark erkälteten Zustande gleichfalls einen absteigenden Ausschlag ertheilen. In einem Fall habe ich von einem Gastroknemius —70° am Multiplicator für den Muskelstrom erhalten; noch nach vier Stunden gab der Muskel —50°. Weder am Gesammtfrosch, der mit Nase und Fufsspitzen, noch an den einzelnen Muskeln, die mit natürlichem Längs- und Querschnitt aufgelegt werden, kann aber von der Verdächtigung die Rede sein, der die absteigende Wirkung am Galvani'schen Präparat anfangs unterlag.

Nach dem Versuch am Gastroknemius und Extensor cruris kann es vielmehr, so scheint es, nicht länger zweifelhaft sein, dafs diese Wirkung in der That zu betrachten sei als eine negative, d. h. dafs sich die Muskeln stark erkälteter Frösche in den ersten Augenblicken nach dem Enthäuten in negativ peripolarem Zustande befinden (S. oben Abth. I. S. 155. 156. 555). Die Folge wird lehren, in wiefern diese Meinung selber noch einer Berichtigung bedarf.

Der negative Ausschlag ist um so gröfser, die darauf folgenden Ausschläge bewegen sich um so länger im negativen Quadranten, und entfernen sich, wenn sie endlich den Nullpunkt überschritten haben, von demselben im positiven Viertelkreise um so weniger, je niedriger die Temperatur war, der der Frosch dauernd ausgesetzt wurde. Es kann in solchen Fällen geschehen, dafs der erste negative Ausschlag dem gröfsten positiven, den man bei öfterem Auflegen erhält, gleichkommt, ja ihn übertrifft. Alsdann ist aber meist der Frosch wirklich gefroren gewesen. In der That, auch der nicht mehr zuckungsfähige Muskel, wie er in unseren früheren Versuchen noch eine Spur von Strom übrig hatte (S. oben Abth. I. S. 161), kann noch innerhalb der engen Grenzen einer solchen Spur Sitz einer Stromentwickelung in der beschriebenen Art werden.

Ob auch die Nerven durch die Wirkung der Kälte in einen ähnlichen Zustand verfallen, wie die Muskeln, ist durch keinen unmittelbaren Versuch auszumachen, weil sich an den Nerven kein natürlicher Querschnitt zur Untersuchung darbietet (Vergl. oben Abth. I. S. 253). Was den künstlichen Querschnitt betrifft, so zeigen wohl die Nerven eine Schwächung ihres Stromes durch lang anhaltende Einwirkung der Kälte, allein eine allmälige Entwickelung des Stromes läfst sich an ihnen so wenig als an den querdurchschnittenen Muskeln nachweisen.

Den Zustand der Muskeln, in dem sie negativ wirken oder unwirksam erscheinen, will ich mit dem Namen des parelektronomischen

Digitized by Google

Zustandes[1] bezeichnen, womit gemeint sein soll, dafs die elektrischen Kräfte des Muskels darin eine von der gesetzmäfsigen abweichende Anordnung haben. Die Wahl dieses Namens wird später gerechtfertigt werden.

Nach dieser ersten Darlegung des Thatbestandes, welche von dem eigentlichen Wesen desselben aber, wie bemerkt, noch gar keine Vorstellung giebt, lassen wir die Untersuchung sogleich diejenige Wendung nehmen, wodurch den hier obschwebenden Versuchen eine so unerwartete Wichtigkeit für die ganze Lehre von den thierisch-elektrischen Strömen zu Theil wird.

4. Die Entwickelung des Muskelstromes nach dem Enthäuten der Gliedmafsen rührt nicht her von der Berührung der Muskeln mit der Luft.

Am Schlusse des ersten Paragraphen waren wir, nach Beseitigung der uns durch die Hautungleichartigkeiten entgegengestellten Hindernisse zu der vermeintlichen Einsicht gelangt, dafs der Muskelstrom und also wahrscheinlich auch der Nervenstrom im unversehrten thierischen Körper nur in geringem Mafse vorhanden seien. Wir hatten, zu unserer nicht geringen Betroffenheit, erfahren müssen, dafs der Muskelstrom, auf den unsere Versuche der Natur der Dinge nach allein Bezug hatten, sich in voller Kraft erst nach dem Enthäuten der thierischen Gliedmafsen einfinde. Wir konnten von dieser Erscheinung, beim besten Willen, keine andere Auslegung geben als die, dafs die Entwickelung des Stromes nach dem Enthäuten beruhe auf dem freigestellten Zutritt der Luft zu der Oberfläche der Muskeln. Allerdings fehlte es bereits damals nicht an mehr oder minder triftigen Gründen gegen diese Vorstellungsweise. Nichtsdestoweniger sahen wir uns aufser Stande, darüber ganz in's Klare zu gelangen, weil nämlich die Entwickelung nach dem Enthäuten an den im natürlichen Zustande befindlichen Thieren mit so reifsender Schnelligkeit vor sich zu gehen schien, dafs nicht daran zu denken war, während ihrer Dauer Versuche über die Umstände anzustellen, welche auf die Entwickelung des Stromes von Einflufs sein mögen, und dadurch die Natur dieses Entwickelungsvorganges zu ermitteln.

In dieser Sachlage ist nun durch die Entdeckung des parelektronomischen Zustandes eine wesentliche Veränderung herbeigeführt. Beiläufig gesagt, entspringen bereits aus den bisher beschriebenen Erscheinungen dieses Zustandes für die fragliche Annahme unüberwindliche

[1] *Παράνομος*, gesetzwidrig.

Digitized by Google

Schwierigkeiten. Beim ersten Anblick könnte man wohl versucht sein, sich vorzustellen, dafs die Kälte die Entwickelung des Stromes verzögere, indem sie die Oberfläche der Muskeln unfähig mache, die Veränderungen durch den Sauerstoff der Luft zu erleiden, auf denen die elektromotorischen Ungleichartigkeiten beruhen sollen. In dem Mafse, wie über dem öfteren Auflegen, dem längeren Aufliegen, das Präparat erwarme, sähe man auch den Strom stufenweise stärker und stärker hervortreten. Allein was wird bei dieser Vorstellungsweise aus dem Unterschied in dem Verhalten des künstlichen und natürlichen Querschnittes? Was sollte die negative Wirkung stark erkälteter Präparate zu bedeuten haben?

Indessen diese Betrachtungen sind noch nicht der wesentliche Punkt, auf den hier gezielt wird. Dieser liegt vielmehr darin, dafs uns jetzt, durch die Erscheinungsweise des Stromes im parelektronomischen Zustande, eine Handhabe geboten wird zur näheren Untersuchung der Entwickelung des Stromes nach dem Enthäuten, insofern wir nämlich jetzt in Stand gesetzt sind, mit Hülfe der Kälte diese Entwickelung scheinbar so zu verzögern, dafs die dabei stattfindenden Umstände der Beherrschung fähig und dem Versuch zugänglich gemacht werden. Die Erforschung der Umstände, welche die Entwickelung des Stromes herbeiführen, sie hemmen oder begünstigen, kann nicht länger eine Unmöglichkeit sein, nun wir wissen, dafs ein parelektronomisches Präparat nach dem Enthäuten viele Minuten lang der Luft ausgesetzt bleiben kann, ohne dafs sich der Strom vollständig entwickelt.

Folgendes sind die Versuche, die wir anstellen müssen, um jene zwar mifsliebige, aber noch immer nicht genügend widerlegte Hypothese auf einmal zu bestätigen oder zurückzuweisen. Ist die Entwickelung des Stromes nach dem Enthäuten und beim Auflegen auf die Zuleitungsgefäfse, sie geschehe schnell, wie am nicht erkälteten, oder langsam, wie am erkälteten Frosch, die Folge der freigegebenen Berührung der Muskeln mit dem Sauerstoff der Luft, so mufs ein erkältetes Präparat, unmittelbar nach dem Enthäuten in Kohlensäure, in Wasserstoff, in Stickstoff, in die Guericke'sche Leere, unter Quecksilber gebracht, nach beliebig langer Zeit stromlos daraus hervorgehen, hingegen in Sauerstoff und vielleicht in Stickstoffoxydul mufs es noch schneller als in der atmosphärischen Luft selber seinen Strom erhalten.

Diese Versuche wurden im Winter folgendermafsen ausgeführt. Der hinreichend lange und tief erkältete Frosch wurde im Freien, unmittelbar auf dem Schnee, möglichst schnell zugerichtet, und sein Galvani'sches Präparat in eine weithalsige Flasche mit doppelt durchbohrtem Korke gebracht. Durch jede Durchbohrung ging ein Glas-

Digitized by Google

rohr, welches mit einem Hahn versehen war. Das eine Glasrohr führte zu dem Gasbehälter mit der zu prüfenden Gasart, das andere endete unter Wasser in einem benachbarten Cylinder, um durch den hier stattfindenden Blasengang über den Fortschritt des Luftaustreibens unterrichtet zu sein (S. oben Abth. I. S. 185). Damit der Versuch möglichst rein sei, wurde die Flasche schon vor Einbringen des Frosches mit Gas gefüllt. Bei Wasserstoff und Stickstoff war die Oeffnung der Flasche während des Einbringens nach unten gekehrt. Nach dem Einbringen des Frosches wurde abermals Gas durch die Flasche getrieben; es wurden die Hähne geschlossen und die Flasche, vom Gasbehälter und dem Probecylinder zu bequemerer Handhabung getrennt, in mittlerer Temperatur so lange aufbewahrt als nothwendig schien um Stromentwickelung herbeizuführen, wenn solche unter diesen Umständen überhaupt stattfand.

Ich begann mit Kohlensäure, Wasserstoff und Stickstoff, und fand, dem Anschein nach, die zu prüfende Voraussicht genau bestätigt. Die Galvani'schen Präparate erkälteter Frösche gaben, nach einem Aufenthalte von 3—4 Stunden in den nicht athembaren Gasarten bei mittlerer Temperatur, absteigende Ausschläge zum Zeichen, dafs auch noch nicht einmal ein Anfang von Stromentwickelung Platz gegriffen hatte.

Ich schritt nun dazu, die Entwickelung, wie ich mir vorstellte, auch durch den Aufenthalt in der Guericke'schen Leere zu verzögern. Die Luftpumpe war die dem Leser schon bekannte von Oertling's Arbeit (S. oben Abth. I. S. 188. 288). Damit die Entleerung möglichst schnell vor sich gehe, wurde die ohnehin kleine Glocke fast ganz mit einem gefirnifsten Holzklotz ausgefüllt, auf den das Präparat zu liegen kam. Ich pumpte bis auf die der zeitigen Temperatur entsprechende Spannkraft der Wasserdämpfe; die Pumpe hielt während der Dauer der Versuche (3—4 Stunden) so gut wie vollkommen dicht.

Es fand keine Spur von Stromentwickelung statt, so dafs sich das Ergebnifs scheinbar auf's Beste dem der Versuche mit den nicht athembaren Gasarten anschlofs.

Jetzt kam, in der Verwirklichung des obigen Versuchsplans, die Reihe an das Quecksilber. Ich ging folgendermafsen zu Werke. Auf den Grund eines 145^{mm} hohen, 11^{mm} weiten Cylinderglases wurde Kitt ausgegossen, in den Kitt eine Oese aus Eisendraht eingeschmelzt, und durch die Oese eine Fadenschlinge gezogen. Die Schlinge wurde um die Fufsgelenke des Galvani'schen Präparates gelegt, das Präparat bis auf den Grund des Glases niedergezogen und mit Quecksilber übergossen. Durch Befestigung des freien Endes der Schlinge konnte alsdann das Präparat unter dem Quecksilber niedergehalten werden.

Digitized by Google

Der erste Frosch, der auf diese Weise behandelt wurde, war unter den nämlichen Umständen als die vorigen erkältet. Um so mehr erstaunte ich, als ich nach vierstündiger Absperrung gleich beim ersten Auflegen + 65° Ausschlag erhielt, und bei wiederholter Prüfung fand, dafs der Strom völlig entwickelt war. Ein zweiter Versuch gab ganz dasselbe Ergebnifs. Ein drittesmal wiederholte ich ihn mit ausgekochtem und dann bei Abschlufs der Luft auf 0° erkältetem Quecksilber, aber mit keinem anderen Erfolg. Ja ich fand, dafs es, um den Strom zur Entwickelung zu bringen, gar nicht einer so langen Frist bedurfte, als ich sie angewendet hatte in der Meinung, ich würde zu beweisen haben, wie der Strom auch durch noch so langes Verweilen unter Quecksilber nicht zur Entfaltung gelange. Eine Stunde reichte völlig aus bei Fröschen, die 36 Stunden auf 0° erkältet worden; 30—45′ brachten den Strom seiner Entwickelung wenigstens sehr nahe.

Dies Ergebnifs war nun freilich mit der zu prüfenden Voraussetzung und auch scheinbar mit dem Erfolg der vorigen Versuche, in sofern er diese Voraussetzung zu bestätigen schien, in keiner Weise zu vereinbaren. Doch ergab sich daraus kein hinreichend deutlicher Wink in Betreff eines anderen hier zu betretenden Versuchsweges, um nicht den vorliegenden zuerst noch in seine übrigen Consequenzen zu verfolgen. Ich beschlofs vielmehr, die für die fragliche Hypothese erwachsene neue Schwierigkeit vor der Hand bei Seite liegen zu lassen und mich jetzt noch mit der anderen Hälfte der Beweisführung abzugeben, nämlich zu versuchen, ob in Sauerstoff oder Stickstoffoxydul der Strom wohl noch schneller als in der Luft zur Entwickelung gelange.

Ich stellte zuerst, nach der früher beschriebenen Methode, den Versuch mit Sauerstoff an. Kaum traute ich meinen Sinnen, als ich fand, dafs auch im Sauerstoff, so wenig als in der Kohlensäure, dem Wasserstoff und dem Stickstoff, der Strom sich binnen vier Stunden im mindesten entwickele. Die Präparate gingen aus der Sauerstoffatmosphäre so stromlos hervor, als sie hineingebracht worden waren.

Jetzt fielen mir die Schuppen von den Augen. Ich erkannte zu spät, dafs ich auf einem ganz falschen Wege fortgeschritten war, ohne mich, wie ich gekonnt hätte, Eingangs desselben zu vergewissern, ob es der richtige sei. Ich hatte versäumt, mich zu überzeugen, ob denn wirklich ein Präparat seinen Strom erhalte, welches man an der Luft ruhig liegen läfst, ohne es auf die Zuleitungsgefäfse aufzulegen. Ich hatte nicht berücksichtigt, dafs möglicherweise in diesem Auflegen, statt in der freigegebenen Berührung mit der Luft, die Ursache der Entwickelung enthalten sein könne.

Digitized by Google

Ohne erst noch den Versuch mit dem Stickstoffoxydul anzustellen, der der Natur der Dinge nach nun kein Ergebnifs mehr liefern konnte, verfuhr ich jetzt, wie mit den Gasarten, mit der atmosphärischen Luft, und mit dem nämlichen unzweideutigen Erfolge. Der Strom eines Präparates, welches enthäutet beliebig lange Zeit der atmosphärischen Luft ausgesetzt wird, ohne auf die Zuleitungsgefäfse gebracht zu werden, entwickelt sich nicht. Es ist folglich nicht die Berührung mit dem Sauerstoff der atmosphärischen Luft, nicht die oberflächliche Trocknifs u. d. m., worauf die Entwickelung des Stromes beruht. Alle Muthmafsungen der Art, die mich Jahre lang einem bösen Traume gleich verfolgt hatten, da durch die Bestätigung derselben die Bedeutung meiner Untersuchungen gänzlich in Frage gestellt gewesen wäre, alle diese Muthmafsungen fanden sich nun mit einem Schlage beseitigt. Das Auflegen des Präparates auf die Gefäfse ist es, welches den Strom zur Entwickelung bringt, da er erst anfängt, sich zu entwickeln, wenn man anfängt, ihn durch Anflegen auf seine Entwickelung zu prüfen.[1] Ein Ergebnifs welches, wenn auch noch selber reich an Dunkelheiten, mindestens schon das für sich hat, mit der Wirkung des Quecksilberbades auf die Stromentwickelung einigermafsen zu stimmen. Die beiden Vorgänge, der des Auflegens auf die Zuleitungsgefäfse und der des Untertauchens unter Quecksilber, haben dem Anschein nach wenigstens das gemein, dafs in beiden ein leitender Bogen den thierischen Theilen angelegt wird. Freilich wird die Folge lehren, dafs dieser Anschein ein ganz trüglicher gewesen sei, und dafs die Uebereinstimmung in dem Erfolg beider Behandlungsweisen in ganz etwas Anderem seinen Grund habe.

5. Die Stromentwickelung an den parelektronomischen Präparaten ist die Folge des zufälligen Benetzens derselben mit der Kochsalzlösung der Zuleitungsgefäfse.

Wir schreiten nun dazu, die Bedingungen der Stromentwickelung näher zu ergründen. Es scheint zuvörderst, als könne das Auflegen auf die Zuleitungsgefäfse in keiner anderen Weise aufgefafst werden, denn als Schliefsen der Präparate zum Kreise. So einfach ist jedoch die Sache bei weitem nicht, wie wir sogleich finden werden, wenn wir einige Schlufsfolgen aus dieser Voraussetzung auf die Probe des Versuches stellen.

Man findet zwar, dafs, wenn man das Präparat mit Becken und

[1] Zu dieser Einsicht gelangte ich im März 1844.

Digitized by Google

Füfsen auf zwei Gefäfsen mit gesättigter Kochsalzlösung nach Art der Zuleitungsgefäfse ruhig liegen läfst, die aber nicht zum Kreise geschlossen sind, der Strom sich nicht entwickelt. Läfst man aber das Präparat nach dem ersten Auflegen auf den Zuleitungsgefäfsen, die durch den Multiplicator zum Kreise geschlossen sind, ruhig liegen, so entwickelt der Strom sich auch nicht. Er fängt erst an sich zu entwickeln, wenn man das Präparat abwechselnd auf die Gefäfse bringt und wieder davon entfernt.

Man sollte nun meinen, das Schliefsen des Präparates zum Kreise allein sei nicht ausreichend, den Strom zu entwickeln, es gehöre dazu abwechselndes Oeffnen und Schliefsen des Kreises. Freilich müfste man, in Erwägung des Erfolgs des Quecksilberbades, noch die Annahme hinzufügen, dafs, bei sehr guter Leitungsfähigkeit des angelegten Bogens, diese Bedingung wegfalle.

Man lege nun aber ein Präparat mit dem Becken in das eine Zuleitungsgefäfs, *Z*, mit den Füfsen in ein Gefäfs *G* mit gesättigter Kochsalzlösung, welches mit beiden Zuleitungsgefäfsen im Dreieck gestellt ist, und schliefse das Präparat häufig zum Kreise, ohne es von den Gefäfsen abzuheben, indem man zwischen dem Gefäfse *G* und dem zweiten Zuleitungsgefäfse *Z'* einen mit Kochsalzlösung getränkten, kurzen und dicken Bausch *B* wechselsweise anbringt und entfernt. Die Platinplatten entladet man dabei durch Anbringen des Schliefsungsrohres zwischen beiden Zuleitungsgefäfsen. Man kann auch den Salzbausch ruhig liegen lassen, und in den Multiplicatorkreis ein Unterbrechungsrad einschalten, welches man beliebige Zeit hindurch in Bewegung erhält. Gleichviel wie man verfahre, es findet auf diese Art keine Spur von Stromentwickelung statt. Wenn z. B. bei diesem Verfahren das Galvani'sche Präparat einen negativen Ausschlag beim ersten Auflegen gab, sieht man wohl, im Verfolg des Versuches, die negative Wirkung kleiner werden. Man gewinnt jedoch leicht die Ueberzeugung, dafs diese Abnahme von nichts herrührt, als von der verminderten Leistungsfähigkeit des Präparates, nicht aber von einer beginnenden Stromentwickelung. Denn wenn das Präparat beim ersten Auflegen einen positiven Ausschlag gab, so sieht man bei dem hier beschriebenen Verfahren den positiven Ausschlag gleichfalls abnehmen, während er doch, wenn Stromentwickelung stattfände, bis zu einer gewissen Grenze zunehmen müfste. Nimmt man aber ein einzigesmal das Präparat von den Gefäfsen herunter, legt es ein paar Augenblicke ruhig auf eine isolirende Unterlage hin, legt es wieder auf, so beginnt unbegreiflicherweise die Stromentwickelung mit gröfserer oder geringerer Geschwindigkeit, d. h. man erhält nun im positiven Sinne wachsende

Digitized by Google

Ausschläge, wenn man den Strom von Zeit zu Zeit mit Hülfe des Bausches *B* zwischen dem Gefäfse *G* und dem zweiten Zuleitungsgefäfse *Z'* bei Abwesenheit des Schliefsungsrohres zwischen *Z* und *Z'* prüft.

Wiederum sollte man meinen, wenn das Schliefsen des Präparates zum Kreise die Ursache der Stromentwickelung enthält, müfste diese Entwickelung abhängig sein vom Widerstande des hergestellten Kreises, so zwar, dafs, wenn der Strom sich durch wiederholtes Auflegen auf die durch einen schlechten Leiter zwischen *G* und *Z'* zum Kreise geschlossenen Gefäfse *Z* und *G* bis zu einem gewissen oberen Grenzwerth entwickelt hätte, er sich noch einer weiteren Entwickelung fähig zeigen müfste, wenn man nun zwischen *G* und *Z'* einen besseren Leiter anbringt. Dies ist jedoch nicht der Fall. Ich brachte zwischen *G* und *Z'*, an Stelle des Salzbausches, ein zweimal rechtwinklig gebogenes sehr dünnes Rohr mit destillirtem Wasser, ja mit Brennspiritus an (Vergl. oben Abth. I. S. 339). Um nicht die Gleichartigkeit der Zuleitungsflüssigkeit zu gefährden, wurden die Mündungen des Rohres mit Pfropfen aus Fliefspapier verschlossen, die mit gesättigter Kochsalzlösung getränkt waren. Die bedeutende Schwächung, welche der bereits entwickelte Strom eines Präparates erlitt, wenn der Salzbausch zwischen *G* und *Z'* durch dies Rohr ersetzt wurde, bekundete hinlänglich, dafs der Widerstand des Rohres neben dem eines Präparates im Kreise allerdings sehr in Betracht kam. Nichtsdestoweniger zeigte es sich, dafs, wenn ich bei Einschaltung des Widerstandrohres ein Präparat seinen Strom durch wiederholtes Auflegen auf *Z* und *G* entwickeln liefs, der Strom auch völlig entwickelt erschien, wenn ich an Stelle des Rohres den unvergleichlich besser leitenden Salzbausch brachte. Es war die entfernte Möglichkeit vorhanden, dafs dies deshalb der Fall sei, weil das eine Bein dem anderen eine Nebenschliefsung darbot, welche schon allein vollständig zur Entwickelung hinreichte. Ich wiederholte also die nämlichen Versuche, statt mit dem Galvani'schen Präparat, mit einem einzelnen Bein, allein mit keinem anderen Erfolg.

Diese Wahrnehmung enthielt einen Wink, den ich nicht unbenützt vorübergehen liefs. In der That, es hatte danach den Anschein, als sei der schliefsende Bogen zwischen den Gefäfsen für die Entwickelung des Stromes von keinerlei Bedeutung. Vielleicht also könnte sogar der Widerstand des Bogens unendlich sein, d. h. der Bogen ganz und gar fortbleiben, und der Strom würde sich dennoch entwickeln, wofern nur das Präparat wechselsweise aufgelegt und abgehoben würde. Denn ich hatte mich wohl überzeugt, dafs bei offenen Gefäfsen der Strom sich nicht entwickele, wenn man das Präparat auf den Gefäfsen ruhig

Digitized by Google

liegen lasse; aber den Erfolg beim wechselweisen Auflegen und Abheben bei offenen Gefäfsen hatte ich noch nicht geprüft.

Dies that ich nun und fand wirklich, dafs, wenn ich bei offenen Gefäfsen ein Präparat mehreremal auflegte, es abnahm und ruhig auf den Tisch hinlegte, wie ich es sonst that um währenddem die Nadel zu beruhigen und die Ladungen zu tilgen, der Strom sich gerade so schnell und vollständig entwickelte, als ob die Gefäfse geschlossen gewesen wären. Also in dieser bloßen Handhabung des Auflegens, des Abhebens und Hinwerfens auf eine isolirende Unterlage mufste nothwendigerweise die Stromentwickelung begründet sein.

Von hier aus war es nicht schwer, dem eigentlichen Kern der Erscheinung auf die Spur zu kommen. Dafs die mechanischen Wirkungen, die das Präparat bei jener Handhabung erfuhr, auf die Entwickelung von keinem Einflufs seien, war bald ausgemacht. Ich konnte das Präparat zwischen Wachstaffent oder Guttaperchaplatten quetschen und kneten, ohne Stromentwickelung herbeizuführen. Es blieb, als möglicher Grund für die Entwickelung, nur noch folgender Umstand übrig. Ich bemerkte, dafs an den Stellen des Tisches oder der Porzellanfliesen (S. oben Bd. I. S. 460), wo ich, zwischen je zweimaligem Auflegen, das Präparat hingelegt hatte, ein mit blutiger Flüssigkeit gemaltes Abbild der Gliedmafsen hinterblieb. Diese Flüssigkeit war gesättigte Kochsalzlösung, welche sich von den damit benetzten Füfsen und dem Becken her durch Haarröhrchen-Anziehung zwischen dem Tisch und der feuchten Oberfläche der Muskeln hingezogen hatte. Das wiederholte Auflegen, Abheben und ruhige Hinlegen des Präparates stellte also vermuthlich nichts anderes vor, als wiederholtes Benetzen des Präparates mit gesättigter Kochsalzlösung in seiner ganzen Ausdehnung, vorzüglich aber an der Rückenfläche, auf die ich es zu legen pflegte.

Hiemit war das Rechte getroffen, wie aus folgenden Versuchen hervorgeht. Ich tauchte das parelektronomische Präparat in Kochsalzlösung und liefs es einige Zeit lang ruhig liegen. Als ich es auf seinen Strom prüfte, fand ich ihn vollständig entwickelt. Ich liefs es in der Kochsalzlösung selber liegen; der Strom wurde in noch kürzerer Zeit vollständig entwickelt. Ich tauchte das Präparat in die Lösung, legte es auf Z und G auf, und prüfte die Entwickelung des Stromes durch Schliefsen mit dem Salzbausch zwischen G und Z', während ich die Ladungen mittelst des Schliefsungsrohres zwischen Z und Z' tilgte. Der Strom entwickelte sich, gerade wie wenn das Präparat unabsichtlich durch Haarröhrchen-Anziehung, während des ruhigen Liegens nach einmaligem Auflegen, mit Salzlösung benetzt worden wäre.

Digitized by Google

Ich tauchte nur die Unterschenkel in die Salzlösung ein und schützte die Oberschenkel vor der Benetzung damit, der Strom schien bald völlig entwickelt. Als ich jetzt aber auch noch die Oberschenkel eintauchte, zeigte sich's, dafs ihm noch der Antheil fehlte, der von diesen herrührt; er ging nun noch merklich höher.

Es versteht sich übrigens, dafs in allen diesen Versuchen die Kochsalzlösung, abgesehen von der Wirkung, die sie auf die Entwickelung des Stromes ausübt, in Bezug auf den Multiplicatorkreis als stromschwächende Nebenschliefsung auftritt. Wenn der Strom eines damit benetzten Präparates völlig entwickelt erscheint, und das Präparat wird mit Wasser abgespühlt und getrocknet, nimmt die Multiplicatorwirkung beträchtlich an Stärke zu; ein Vorgang, der nicht mit einer ferneren Stromentwickelung verwechselt werden darf (S. oben Bd. I. S. 688).

Auf der anderen Seite läfst sich zeigen, dafs das Auflegen, Abheben und Ruhigliegenlassen den Strom nicht entwickelt, wenn man dabei vermeidet, dafs sich durch Haarröhrchen-Anziehung das Präparat in weiterer Ausdehnung benetzt. Dies kann man auf verschiedene Art erreichen. Erstens, indem man das Präparat, statt es auf den Tisch zu legen, über ausgespannte Fäden wagrecht frei in der Luft ausbreitet. Fürs zweite, indem man es erst auf den Tisch legt, nachdem man Becken und Füfse mit der Spritzflasche von der Salzlösung befreit und sorgsam abgetrocknet hat. Endlich drittens, indem man es mit der Rückenfläche auf die gewölbte Seite eines gleich einer Fafsdaube vor dem Feuer gebogenen Brettchens (eines Stückes Cigarrenkiste) von etwa 15^{mm} Breite, 90^{mm} Länge und 80^{mm} Krümmungshalbmesser dergestalt bindet, dafs es die Enden des Brettchens mit Becken und Füfsen überragt. Diese kann man alsdann eintauchen, und das Präparat mit den benetzten Endpunkten gleich einem Brückenbogen auf den Tisch stellen, ohne dafs sich Salzlösung seiner Oberfläche entlang zieht. So kann man das Präparat beliebig oft auflegen, abheben und ruhig hinstellen, ohne dafs der Strom sich entwickelt. Man kann es auch mit dem Becken und den Füfsen als Brückenbogen in eine flache Schüssel mit gesättigter Kochsalzlösung stellen; der Strom entwickelt sich nicht. Er entwickelt sich aber sofort, wenn man das Präparat, mit dem Bogen, an den es gebunden ist, auch nur einmal durch Kochsalzlösung zieht.

Aus alledem geht mit Gewifsheit hervor, dafs es in der That das zufällige Benetzen mit Kochsalzlösung bei der Handhabung des Auflegens, Abhebens, Ruhigliegenlassens war, wodurch der Strom zur Entwickelung kam. Dies macht die vorherigen räthselhaften Ergebnisse nun mit einemmale verständlich. Es wird klar, weshalb das einmalige

Digitized by Google

Auflegen und Liegenlassen auf den offenen sowohl als geschlossenen Gefäfsen oder auch das öftere Zumkreiseschliefsen eines unverrückt aufliegenden Präparates, den Strom unentwickelt lasse, denn es fehlt dabei die Gelegenheit zur Benetzung mit Kochsalzlösung. Weshalb der Strom anfange sich zu entwickeln, sobald nur einmal das Präparat abgehoben und auf den Tisch hingelegt worden ist, denn dabei überzieht es sich mit einer Schicht Kochsalzlösung. Weshalb nichts ankomme auf den Widerstand des das Präparat zum Kreise schliefsenden Bogens, ja weshalb dieser Widerstand sogar unendlich, d. h. der Kreis geöffnet sein könne, unbeschadet der Stromentwickelung, denn gleichviel ob der Kreis zur Entwickelung beitrage oder nicht, was wir noch nicht wissen, jedenfalls reicht die Benetzung mit Kochsalzlösung aus, die Entwickelung bald vollständig herbeizuführen.

Was die Zeit betrifft, welche nothwendig ist, damit durch die Einwirkung der Kochsalzlösung der Strom zur Entwickelung komme, so hält es schwer, eine genaue Angabe darüber zu machen. Diese Zeit ist jedoch eingeschlossen zwischen etwa 1′ und 1′.5, d. h., wenn man Präparate beziehlich diese Zeiträume hindurch in Kochsalzlösung liegen läfst, sie darauf mit Wasser abspühlt, prüft, von Neuem in Lösung legt und nach einer gewissen Zeit abermals abspühlt und prüft, so findet man in dem ersten Fall häufig, in dem zweiten Fall selten, dafs durch das zweite Eintauchen noch eine Verstärkung des Stromes um einige Grade herbeigeführt worden ist. Gröfser wird die zur vollständigen Entwickelung des Stromes nothwendige Zeit in dem Fall, wo das Präparat nicht in die Lösung getaucht, sondern nur der zufälligen Benetzung mit der Lösung beim wiederholten Auflegen preisgegeben wird. Alsdann findet man, wie bereits oben S. 35 angegeben wurde, dafs der Strom sich gemeiniglich bis zum fünften Mal steigert, von da ab wiederum sinkt. Es kostet aber jede Prüfung des Präparates auf die Stärke seines Stromes, wegen des nothwendigen Beruhigens der Nadel und Abgleichens der Ladungen, 3—4′ Zeit, so dafs der ganze Entwickelungsvorgang zu seiner Vollendung in dieser Art eine Viertelstunde bis 20′ in Anspruch nimmt. Dies heifst aber im Grunde begreiflich nur so viel, als dafs sich im Durchschnitt bei fünfmaligem Auflegen alle die Zufälligkeiten ereignet haben, welche nothwendig sind, um das Präparat an allen den Stellen, wo es für die Entwickelung des Stromes von Wichtigkeit ist, mit Kochsalzlösung zu überziehen. Daher denn auch, bei dieser Versuchsweise, die zur Entwickelung nöthige Zeit im Allgemeinen mit der Länge der Zeiträume wächst, die man zwischen den einzelnen Malen des Auflegens läfst. Die Folge wird übrigens lehren, dafs sich an die Kenntnifs der

Digitized by Google

absoluten Zeitdauer der Stromentwickelung durch die Kochsalzlösung durchaus kein wesentliches Interesse knüpft.

6. Die Stromentwickelung an den parelektronomischen Muskeln in unseren Versuchen ist die Folge des Benetzens allein des natürlichen Querschnittes mit der Kochsalzlösung der Zuleitungsgefäfse oder dem Hühnereiweifs der Eiweifshäutchen.

Wir wissen nun, dafs Untertauchen der parelektronomischen Gliedmafsen unter Quecksilber und Benetzen derselben mit gesättigter Kochsalzlösung den Strom zur Entwickelung bringt, dafs er dagegen nicht hervortritt, wenn ein Präparat zwischen Füfsen und Becken noch so lange zum Kreise geschlossen bleibt. Das Quecksilber und die Kochsalzlösung haben dem Anschein nach nur eine Eigenschaft gemein, auf die es hier ankommen kann, im Vergleich zu den thierischen Theilen gute Leiter zu sein. Es liegt folglich die Muthmafsung nahe, das Bedingende der Stromentwickelung beim Eintauchen in jene beiden Flüssigkeiten liege darin, dafs eine gute Leitung unmittelbar zwischen natürlichem Längs- und Querschnitt der oberflächlichen Muskeln des Galvani'schen Präparates hergestellt werde. Diese Muthmafsung wollen wir jetzt einer Prüfung unterwerfen. Wir wenden uns, zu diesem Zweck, zur Untersuchung der Bedingungen der Stromentwickelung an einem einzelnen Muskel, dem Gastroknemius oder dem Extensor cruris, welche einen ausgedehnten natürlichen Querschnitt darbieten. Es scheint nun anfangs wirklich, als ob es gelänge, mit Hülfe dieser Muskeln die Richtigkeit der ausgesprochenen Vermuthung zu bestätigen.

Man legt einen Gastroknemius mit seinem rothen Fleisch auf das Eiweifshäutchen des einen Bausches, mit der Ausbreitung der Achillessehne auf das des anderen, und schliefst, neben dem Gastroknemius, zwischen beiden Bäuschen mittelst des Schliefsungsbausches. Auf diese Weise ist die Kette zwischen Längs- und Querschnitt des Muskels dauernd und doppelt geschlossen, einmal durch den Multiplicatorkreis, für's zweite durch den Schliefsungsbausch. Der Schliefsungsbausch bildet aber in Bezug auf den Multiplicatorkreis eine so gute Nebenschliefsung, dafs selbst bei völlig entwickeltem Strome die Nadel des Multiplicators für den Muskelstrom nur eine kaum merkliche Spur davon anzuzeigen vermag. Beim Entfernen des Muskels, während der Schliefsungsbausch liegen bleibt, geben sich gleichfalls nur ganz unmerkliche Ladungen der Platinenden des Multiplicators kund. Hebt man dagegen den Schliefsungsbausch ab, während der Muskel liegen bleibt, so bleibt dieser allein durch den Multiplicatorkreis zur Kette

Digitized by Google

geschlossen, und die Nadel beschreibt einen Ausschlag genau als ob man den Muskel bei vorher ganz geöffnetem Kreise eben auf die Bäusche gelegt hätte. Man vermag also, auf diese Art, durch blofses Abheben des Schliefsungsbausches von Zeit zu Zeit und ohne sonst irgend etwas an der Anordnung zu verändern, den zwischen Längs- und Querschnitt dauernd geschlossenen Muskel auf die Entwickelung seines Stromes zu prüfen. Dies ist weit vortheilhafter, als wenn man den Muskel anderweitig zum Kreise schlösse und ihn zu jeder Prüfung aus diesem Kreise auf die Bäusche brächte. Man würde dabei nicht sicher sein, ihm stets wieder dieselbe Lage zu ertheilen, und möglicherweise könnte von irgend welchem Umstande beim wiederholten Auflegen, statt vom dauernden Aufenthalt im Kreise, die Entwickelung des Stromes herrühren.

Verfährt man nun dergestalt mit einem parelektronomischen Muskel, so findet man, dafs sich sein positiver Strom im Verlauf des Aufliegens bald vollständig entwickelt, gerade wie wir dies oben S. 35 beobachtet haben, wo wir den Muskel wechselsweise abhoben und wiederum auflegten. Uebrigens dauert die Stromentwickelung am Gastroknemius, der mit Längs- und Querschnitt auf den mit Eiweifshäutchen bekleideten Bäuschen aufliegt, sehr viel länger als an einem Präparate, welches unter Kochsalzlösung getaucht wird, wenn auch nicht gerade länger als an einem solchen, welches der zufälligen Benetzung beim wiederholten Auflegen preisgegeben wird (S. oben S. 48). Dieser letztere Umstand ist beiläufig Schuld daran, dafs wir oben S. 35 nicht bemerken konnten, wie die Dauer der Entwickelung von der Art des Schliefsens zur Kette abhängig sei und folglich die Entwickelung nicht freiwillig nach dem Enthäuten der Gliedmafsen vor sich gehen könne, sondern irgendwie durch das Schliefsen derselben zur Kette bedingt sein müsse.

Uebrigens versteht es sich von vorn herein, dafs auch ein einzelner Gastroknemius, den man 1′—1′.5 in Kochsalzlösung taucht, gleich einem ganzen Präparate mit völlig entwickeltem Strome daraus hervorgeht. Dabei giebt sich aber ein fernerer Umstand zu erkennen, auf den wir gleichfalls oben S. 35 noch nicht aufmerksam werden konnten, und der von grofser Wichtigkeit zu werden verspricht. Entwickelt man nämlich den Strom des einen Gastroknemius eines Frosches durch Auflegen auf die mit Eiweifshäutchen bekleideten Bäusche, den Strom des anderen Gastroknemius desselben Frosches aber durch Eintauchen in Kochsalzlösung, so findet man, dafs der Strom des letzteren den des ersteren an endlicher Stärke weit übertrifft.

Jetzt wollen wir den parelektronomischen Muskel statt mit Längs- und Querschnitt, auf andere Weise, z. B. mit Punkten des Längsschnittes

Digitized by Google

allein, oder mit sehnigen Enden, in den Kreis bringen. Dabei wird also zugleich zur Erledigung kommen die oben S. 37 offen gebliebene Frage nach dem Verhalten erkälteter Muskeln bei diesen Arten der Ableitung. Man nähere die Bäusche einander, versehe die Eiweifshäutchen in hergebrachter Weise mit Glimmerblättchen die nur ihren Rand frei lassen, und brücke darüber einen parelektronomischen Semimembranosus oder Adductor magnus Cuv. mit symmetrischen oder asymmetrischen Punkten des Längsschnittes. Es findet keine Entwickelung statt; d. h. bei asymmetrischen Punkten tritt der gehörige Strom nicht hervor, bei symmetrischen findet man bei nachheriger Prüfung den Strom zwischen Längsschnitt und natürlichem Querschnitt noch unentwickelt vor.

Man bringe sodann zwischen den Bäuschen die Spitze der dreieckigen Glasplatte Fig. 28. Taf. I. Fig. 40. Taf. IV. Bd. I. an, lege darauf einen parelektronomischen Gastroknemius, und lasse ihn diesmal die Bäusche, die dabei nicht mit Eiweifshäutchen überzogen zu sein brauchen, statt, wie früher, mit Längs- und Querschnitt, nur mit sehnigen Enden berühren. Es ist uns diese Art, den Strom des Gastroknemius abzuleiten, schon von früherher wohlbekannt (S. oben Bd. I. S. 495. 496. 515). Man erinnert sich, dafs der Gastroknemius, wenn er im vollen Besitze seines Stromes ist, dabei mit sehr grofser Kraft in aufsteigender Richtung wirkt. Nichtsdestoweniger zeigt sich in dieser Lage abermals das Schliefsen des Muskels zum Kreise auch bei noch so langer Dauer unfähig, den Strom zu entwickeln. Höchstens eine leise Spur, im Bereiche von ein paar Graden, kommt in einigen Fällen nach stundenlanger Frist zum Vorschein. Dasselbe ist aber auch manchmal der Fall, wenn man den Muskel, ohne ihn auf irgend eine Art zur Kette zu schliefsen, auf nichtleitender Unterlage sich selbst überläfst.

Also beim Aufliegen des Muskels mit seinen sehnigen Enden entwickelt der Strom sich nicht, so wenig als beim Aufliegen mit Punkten des Längsschnittes allein und so wenig als der Strom eines Galvani'schen Präparates, welches mit Füfsen und Becken auf den Zuleitungsgefäfsen aufliegt. Es ist dies beiläufig ein Fund von grofser praktischer Wichtigkeit für den Verfolg der Untersuchung. Denn wir sind dadurch in Stand gesetzt, die Entwickelungsstufe des Stromes des Gastroknemius zu bestimmen, und ihn auf einer gegebenen Stufe beliebig oft der Prüfung zu unterwerfen, ohne Gefahr zu laufen, durch die Prüfung selber den Stand der Entwickelung zu verändern, wie dies, dem Obigen nach, unfehlbar der Fall sein würde, wenn wir den Muskel mit Längs- und Querschnitt auflegten. Es versteht sich hienach von selber, dafs fortan jedesmal, wo es sich um die Prüfung eines par-

Digitized by Google

elektronomischen Gastroknemius auf die Entwickelung seines Stromes handelt, der Muskel als mit sehnigen Enden aufgelegt zu denken ist.

Es hat sich also, dem Anschein nach, vollständig bewährt die zu Anfang hingestellte Vermuthung, es sei die unmittelbare Verbindung von Längs- und Querschnitt nothwendig, damit der Strom sich entwickele. Lassen wir indefs, durch diese scheinbare Uebereinstimmung einiger Thatsachen, unsere Wachsamkeit nicht einschläfern. Vergessen wir nie, dafs wir uns auf einem Gebiete bewegen, auf dem man, wenn der Ausdruck vergönnt ist, nicht unterlassen darf sich zu vergewissern, ob auch wirklich ein Stein falle. Setzen wir unsere Meinung, es sei eine Verbindung von Längs- und Querschnitt in der bisher verwirklichten Art nothwendig, damit der Strom sich entwickele, auf die nämliche Probe, vor der oben S. 45 unsere damalige Vorstellung nicht bestand, es genüge, um Entwickelung herbeizuführen, dafs das Galvani'sche Präparat überhaupt zwischen beliebigen Punkten, z. B. Becken und Füfsen, zum Kreise geschlossen werde. Wir dachten uns damals, dafs, wenn dieses Schliefsen zum Kreise die Entwickelung bedinge, doch wahrscheinlich auch der Widerstand des Kreises dabei in Betracht komme, so zwar, dafs ein Präparat, dessen Strom für einen schlecht leitenden Kreis völlig entwickelt erscheine, sich beim Anlegen eines besser leitenden Bogens noch einer ferneren Stromentwickelung fähig zeigen würde. Diese Erwartung ward getäuscht. Wir fanden vielmehr eine völlige Unabhängigkeit des schliefslich erreichten Entwickelungsgrades vom Widerstande des angelegten Bogens, und wurden so darauf geführt, dafs vielleicht dieser Bogen selber gar nichts möge mit der Entwickelung zu schaffen haben, eine Muthmafsung, die bald zur völligen Gewifsheit ward.

Hier jedoch könnte man meinen, in der geringeren Schnelligkeit und Stärke der Stromentwickelung beim Aufliegen des Muskels auf den mit Eiweifshäutchen bekleideten Bäuschen im Vergleich zu der beim Eintauchen in Kochsalzlösung, den Einfluſs des gröfseren Widerstandes des angelegten Bogens bereits unzweideutig zu erkennen. Um nun diesen Einfluſs, wenn er wirklich vorhanden ist, unmittelbar nachzuweisen, lassen sich verschiedene Anordnungen treffen. Die einfachste ist folgende. Man legt auf eine Glasplatte nebeneinander zwei Zwischenbäusche. Gegen einander über liegende Stellen der Bäusche werden mit Eiweifshäutchen bekleidet, und mit dem Gastroknemius überbrückt. Zwischen beliebigen anderen Punkten der Bäusche stellt man die schlechtleitende Verbindung her, sei's mit einem feuchten Faden, sei's mit einem Widerstandsrohre gleich dem oben S. 45 erwähnten, dessen Fliefspapierstopfen man mit den Bäuschen in Berührung bringt. Von Zeit zu Zeit prüft man den Gastro-

Digitized by Google

knemius auf die Entwickelung seines Stromes, indem man den Strom von den beiden sehnigen Enden ableitet. Ist der Strom scheinbar völlig entwickelt, so bringt man an Stelle der schlechten Leitung zwischen den Bäuschen eine beliebig gute Leitung an. Es findet aber dadurch keine merkliche Entwickelung mehr statt. Die entwickelnde Ursache scheint also auch hier von dem Widerstande des Bogens unabhängig zu sein, und die geringere Schnelligkeit und Stärke der Entwickelung beim Aufliegen auf den Bäuschen im Vergleich zu der beim Eintauchen in Kochsalzlösung mufs auf etwas anderem beruht haben, als auf einem Unterschiede der Widerstände der angelegten Bögen in beiden Fällen.

Vielleicht kann nun sogar der Widerstand unendlich grofs sein, ohne dafs die Entwickelung beeinträchtigt wird, d. h. vielleicht brauchen die Bäusche gar nicht zur Kette geschlossen zu sein (Vergl. oben S. 45). So zeigt es sich in der That. Es genügt, um nach einiger Zeit den Strom vollständig entwickelt zu sehen, an Längs- und Querschnitt des Gastroknemius mit Eiweifshäutchen bekleidete Bäusche zu bringen, die nicht unter sich zum Kreise geschlossen sind.

Jetzt mufste versucht werden, ob es vielleicht auch hinreichend sei, nur an Längsschnitt, oder nur an Querschnitt, einen mit einem Eiweifshäutchen bekleideten Bausch hinanzuschieben. Ich fand, dafs das Anlegen eines solchen Bausches an den Längsschnitt den Strom nicht viel stärker entwickele, als wenn der Muskel sich selber überlassen bleibt, d. h. nur spurweise; dafs hingegen der Strom zur Entwickelung gelangt, wenn ein mit dem Eiweifshäutchen bekleideter Bausch die Ausbreitung der Achillessehne in einiger Ausdehnung berührt. Endlich entfernte ich auch noch den Bausch und behielt nur das Eiweifshäutchen bei, womit ich, statt des Bausches, den Rand einer der oben Bd. I. S. 460 erwähnten Porzellanfliesen bekleidete. Legte ich den Gastroknemius mit seinem Kopfende auf irgend einen isolirenden Körper, mit der Ausbreitung der Achillessehne auf jenes Eiweifshäutchen, so fand Stromentwickelung statt, so gut wie in dem ersten Versuche dieser Nummer, wo die Kette zwischen Längs- und Querschnitt dauernd und doppelt durch vorzügliche Leitungen geschlossen war.

Es geht hieraus hervor, dafs diese Leitungen, in jenem Versuch und in den späteren, ganz überflüssig waren. Die bloſse Gegenwart des Eiweifshäutchens am natürlichen Querschnitt ist ausreichend, um den Strom zu entwickeln. Es ist also kein Wunder, dafs der Widerstand der Leitungen sich von gar keinem Einfluſs auf die Entwickelung zeigte. Ebenso, läfst sich jetzt schliefsen, war es wohl in allen Versuchen, in welchen wir die Entwickelung durch Benetzen mit Kochsalzlösung herbeiführten, ganz überflüssig, dafs sich die Benetzung

Digitized by Google

auch auf den natürlichen Längsschnitt erstreckte. Es kam gewifs auch hier nicht darauf an, dafs die Lösung eine gute Leitung zwischen den beiden ungleichartigen Flächen des Muskels herstellte. Es wird, um den Strom zu entwickeln, genügen, den natürlichen Querschnitt allein mit der Lösung zu benetzen, während das Benetzen des Längsschnittes sich auch hier vergleichweise ganz unwirksam erweisen wird.

Dies ist denn auch wirklich der Fall. Wenn man den Muskel mit der Ausbreitung der Achillessehne, statt gegen den mit einem Eiweifshäutchen bekleideten Rand einer Porzellanfliese, gegen den des Eiweifshäutchens beraubten Salzbausch lehnt, tritt der Strom ungefähr mit derselben Geschwindigkeit und ebenso stark hervor, als da wir den ganzen Muskel unter Kochsalzlösung brachten. Verfährt man auf gleiche Weise mit Punkten des Längsschnittes allein, so zeigt sich keine mit der früheren irgend vergleichbare Entwickelung.

7. Die Stromentwickelung an den parelektronomischen Muskeln kann herbeigeführt werden durch Benetzen des natürlichen Querschnittes mit beliebigen chemisch wirksamen Flüssigkeiten, gleichviel ob leitender oder nichtleitender Art.

(1) Verfahren, verschiedene Flüssigkeiten auf ihr Vermögen zur Entwickelung des Stromes parelektronomischer Muskeln zu prüfen.

Wir haben nunmehr drei Arten kennen gelernt, den Strom der parelektronomischen Muskeln zur Entwickelung zu bringen. Erstens durch längeres Verweilen der Muskeln unter Quecksilber; zweitens durch Benetzen des natürlichen Querschnittes mit Hühnereiweifs und drittens durch Benetzen desselben mit Kochsalzlösung. Lassen wir die erste Art der Entwickelung, diejenige nämlich durch ein Quecksilberbad, vorläufig auf sich beruhen. Sie wird sich später auf ebenso überraschende als befriedigende Weise, nur als eine unwesentliche Abänderung der beiden anderen Arten erweisen. Gehen wir lieber darauf aus, das allgemeine Prinzip zu finden, welches diesen letzteren zu Grunde liegen mag. Der Weg dazu wird sein, zu untersuchen, ob auch andere Flüssigkeiten im Stande sind, den Strom zu entwickeln, als gerade Kochsalzlösung und Hühnereiweifs, und wenn dies, wie wir wohl annehmen dürfen, der Fall ist, welche die gemeinsame Eigenschaft dieser Flüssigkeiten, also die zur Entwickelung nothwendige und wesentliche sein mag.

Man kann, bei der Prüfung der Flüssigkeiten auf ihre stromentwickelnde Fähigkeit, auf verschiedene Art zu Werke gehen.

Man kann erstlich den Muskel, nachdem man ihn zwischen seinen sehnigen Enden auf den Entwickelungszustand seines positiven Stromes

Digitized by Google

geprüft hat, in die Flüssigkeit tauchen, ihn darin eine genügende Zeit verweilen lassen, und ihn, nachdem man ihn abgespühlt hat, abermals zwischen seinen sehnigen Enden einer Prüfung unterwerfen. Dabei gelangt man jedoch nie zur Sicherheit, dafs nicht an den sehnigen Enden Spuren der Flüssigkeit haften geblieben sind, welche den Strom durch Veränderung des Widerstandes entsprechend verändern, bei leitenden Flüssigkeiten aber aufserdem noch elektromotorisch wirken können; der Längsschnitt wird ohne Noth angeätzt; es ist schwer, den Muskel stets wieder in genau gleicher Art aufzulegen; endlich erlangt man eine Vorstellung von der Geschwindigkeit, mit der die verschiedenen Flüssigkeiten den Strom entwickeln, nur durch die schwierige und langwierige Bestimmung der Zeit, die die Muskeln darin verweilen müssen, um den oberen Grenzwerth ihrer positiven Wirksamkeit zu erlangen.

Besser ist schon das Verfahren, dem Querschnitt des Muskels kleine Fliefspapierbäusche anzulegen, welche mit der zu prüfenden Flüssigkeit getränkt sind; wenigstens bleiben dabei Längsschnitt und und sehnige Enden von der entwickelnden Flüssigkeit verschont.

Diese beiden Verfahrungsarten sind es im Wesentlichen, die wir in unseren bisherigen Versuchen mit der Kochsalzlösung und dem Hühnereiweifs, durch zufällige Umstände geleitet, in Anwendung gebracht haben. Dabei hatten wir aber, bei dem ersten Verfahren, den günstigen Umstand für uns, dessen wir jetzt verlustig gehen, dafs die entwickelnde Flüssigkeit einerlei mit der war, die die feuchten Multiplicatorenden bildet, so dafs wir wenigstens keine Störungen durch eine etwaige elektromotorische Wirksamkeit der entwickelnden Flüssigkeit zu besorgen brauchten. Weit leichter in's Werk zu setzen und entscheidender in ihrem Erfolge als jene beiden ist nachstehende Versuchsweise, der wir daher auch fortan den Vorzug schenken werden.

Der Muskel ruht mit seiner Tibialfläche auf der dreieckigen Glastafel, kehrt die Ausbreitung der Achillessehne frei nach oben, und berührt die beiden Bäusche mit seinen sehnigen Enden. Zwischen den Rändern der Glasplatte und den Bäuschen bleibt ein Zwischenraum von einigen Millimetern. Während der Muskel dergestalt aufliegt und die Nadel auf Null verharrt oder sich im negativen Quadranten, oder auch bereits im positiven Viertel der Theilung in beständiger Ablenkung befindet, trägt man die entwickelnde Flüssigkeit auf den natürlichen Querschnitt des Muskels mit einem Haarpinsel oder einem Glasstäbchen auf. Der Erfolg zeigt sich entweder augenblicklich an der Nadel, oder man erkennt ihn bei langsamerer Entwickelung dadurch, dafs man zwischen den Bäuschen neben dem Muskel mit dem

Digitized by Google

Schliefsungsbausche schliefst, dann, nach getilgten Ladungen, den Bausch wieder abhebt (Vergl. oben S. 49. 50). Bei diesem Verfahren hat man keine der oben aufgezählten Störungen von Seiten der Flüssigkeiten zu fürchten, da die sehnigen Enden davon frei bleiben. Der Muskel bleibt unverrückt, mit Ausnahme höchstens des Falles, dafs er durch die zu prüfende Flüssigkeit in Zuckung versetzt wird. Endlich aber hat man an der Lebhaftigkeit der Nadelbewegung, welche auf das erste Benetzen mit der Flüssigkeit folgt, ein bequemes und innerhalb der Grenzen, auf die es hier ankommt, hinreichend sicheres Merkmal für die Geschwindigkeit, mit der die Flüssigkeit den Strom hervorruft.

(II) Entwickelung des Stromes parelektronomischer Muskeln durch Benetzen des natürlichen Querschnittes mit leitenden Flüssigkeiten.

Ich habe auf diese Weise eine grofse Anzahl von Flüssigkeiten auf ihre entwickelnde Fähigkeit untersucht.

Ich begann mit den gesättigten Lösungen folgender Salze: schwefelsaures Kupfer- und schwefelsaures Zinkoxyd, salpetersaures Silberoxyd, essigsaures Natron, Chlorammonium, Quecksilberchlorid, Eisenchlorid, Jodkalium, Cyaneisenkalium, Schwefelwasserstoffammoniak.

Alle diese Lösungen wirkten mehr oder weniger rasch entwickelnd. Bei den schneller entwickelnden Lösungen sieht man sogleich die Nadel sich ausschlagsweise bis auf +70 bis 80° begeben, ja an die positive Hemmung schlagen; so wirken namentlich salpetersaures Silberoxyd, Jodkalium, Eisenchlorid, Cyaneisenkalium. Bei den minder rasch wirksamen Lösungen, mit Inbegriff der Kochsalzlösung, geht die Nadel so langsam, dafs sie dabei in keine merkliche Schwingungen geräth, auf +10 bis 15° beständiger Ablenkung. Bringt man jetzt den Schliefsungsbausch neben dem Muskel auf die Bäusche, so schlägt sie an die negative Hemmung, und beim Abheben des Bausches nach getilgten Ladungen an die positive Hemmung.

Ich wendete mich nun zu den Säuren. Sowohl rauchende als die gemeine käufliche Salpetersäure, Chlorwasserstoffsäure, verdünnte Schwefelsäure, concentrirte Essigsäure, Oxalsäure wirkten sämmtlich sehr stark, d. h. die Nadel ging sogleich ausschlagsweise in sehr hohe Breiten des positiven Quadranten, ja an die Hemmung.

Von alkalischen Flüssigkeiten prüfte ich eine sehr concentrirte Kalilauge und Ammoniakflüssigkeit. Beide trieben sofort die Nadel an die positive Hemmung.

Es versteht sich übrigens, dafs die Flüssigkeiten, gleich der Koch-

Digitized by Google

salzlösung, ebensogut entwickelnd wirken, wenn man Längs- und Querschnitt zugleich damit benetzt, nicht aber, wenn allein der Längsschnitt ihnen preisgegeben wird.

So versteht es sich auch, dafs die Flüssigkeiten, neben ihrer stromentwickelnden Thätigkeit, immer zugleich als Nebenschliefsung wirksam sind. Man erkennt dies leicht daran, dafs der Strom nach sorgfältiger Reinigung des Muskels merklich an Stärke zunimmt (Vergl. oben S. 47).

Wenn der Muskel, beim Benetzen mit den minder rasch entwickelnden Flüssigkeiten, wie Kochsalzlösung, Salmiaklösung u. d. m., bereits etwas positiven Strom besitzt, so zeigt sich eine merkwürdige Erscheinung. Man sieht nämlich die Nadel zuerst einen kleinen negativen Vorschlag beschreiben und erst nachher den weit gröfseren Ausschlag im entgegengesetzten Viertel der Theilung vollziehen, der von der Entwickelung des positiven Stromes herrührt.

Diese Erscheinung beruht zweifellos darauf, dafs die Flüssigkeit sich eher geltend macht als Nebenschliefsung für den bereits vorhandenen Strom, als sie ferneren Strom zu entwickeln vermag. Damit stimmt wenigstens, dafs die schneller entwickelnden Flüssigkeiten die Erscheinung nicht zeigen, und dafs sie ebensowenig bemerklich wird, wenn der Muskel, statt bereits positiven Strom, noch negativen Strom besitzt. Im letzteren Falle nämlich mufs die Wirkung wegen der Nebenschliefsung einerlei Sinn haben mit der wegen der Stromentwickelung, d. h. die positive Richtung. Der negative Vorschlag ist ferner um so bedeutender, je reichlicher der Muskel mit der Flüssigkeit benetzt wird, während es für die Entwickelung begreiflich eine Grenze giebt, jenseits welcher es gleichgültig ist, ob noch mehr Flüssigkeit hinzugetragen wird oder nicht.

Der Vorschlag wegen Nebenschliefsung findet auch statt, wenn nur der Querschnitt benetzt wird, nicht aber, wenn nur den Längsschnitt. Leitet man den völlig entwickelten Strom des Gastroknemius abwechselnd von den sehnigen Enden und von Längs- und Querschnitt ab, so findet man ihn im ersten Falle regelmäfsig stärker als im zweiten. Unstreitig hat man sich zu denken, dafs in diesem letzteren die Masse selber des an den Querschnitt angelegten Bausches eine schwächende Nebenschliefsung bildet in Bezug auf den Multiplicatorkreis, dessen eines Ende der Bausch vorstellt. Dafs aber das Anbringen eines Leiters an den Querschnitt allein hinreicht, eine solche Nebenschliefsung zu bilden, erklärt sich einigermafsen daraus, dafs der natürliche Querschnitt am Gastroknemius einen sehr spitzen Winkel mit der Richtung der Primitivmuskelbündel macht. Zwar sind diese, wie

Digitized by Google

ich sehe, längs der Ausbreitung der Achillessehne unter demselben Winkel gegen ihre Axe, und unter seinem Complement gegen die Richtung ihrer Querstreifen, in einer Flucht schräg abgeschnitten; ihre Enden überragen einander nicht stufenförmig, und eine den Querschnitt benetzende Flüssigkeit ist daher nicht etwa zu betrachten als angelegt an Längs- und Querschnitt aller einzelnen Bündel. Wohl aber kann man sich vorstellen, dafs in dem schrägen Querschnitt jedes einzelnen Bündels die Längsreihen der elektromotorischen Molekeln einander stufenförmig überragen, so dafs an Längs- und Querschnitt dieser Reihen die Nebenschliefsung angelegt sein würde.

Man kann den negativen Ausschlag wegen der Nebenschliefsung natürlich auch beobachten, indem man den Strom zuerst mit Hülfe einer bestimmten Flüssigkeit entwickelt und dann den Querschnitt noch mit derselben Flüssigkeit überschwemmt. Es findet alsdann kein Rückkehren der Nadel in das positive Viertel der Theilung mehr statt, es sei denn, dafs das erste Benetzen zur vollständigen Entwickelung nicht hingereicht habe. Entwickelt man aber zuerst mit einer bestimmten Flüssigkeit, und trägt dann eine andere auf, so findet man, dafs gewisse Flüssigkeiten noch vermögen, da einen positiven Ausschlag hervorzulocken, wo bereits andere ihre volle Wirkung gethan zu haben scheinen, z. B. Salpetersäure nach Kochsalzlösung, salpetersaure Silberoxydlösung nach Essigsäure. Die verschiedenen Flüssigkeiten entwickeln also nicht allein nicht gleich schnell, sondern auch nicht gleich stark. Der obere Grenzwerth der positiven Wirksamkeit, den der Muskel durch die Einwirkung der Flüssigkeit erreicht, ist bei der einen gröfser als bei der anderen. Im Allgemeinen kann man sagen, dafs er um so gröfser ist, je schneller, um so kleiner, je langsamer er erreicht wird. Doch giebt es auch namhafte Ausnahmen von dieser Regel; wenigstens in sofern, als eine Flüssigkeit sehr viel schneller als eine andere entwickeln kann, ohne deshalb viel stärker zu entwickeln; so Essigsäure im Verhältnifs zu Kochsalzlösung. Eine Rangordnung der verschiedenen Flüssigkeiten, in der jede folgende noch positiven Ausschlag giebt, wenn alle vorhergehende ihre volle Wirkung gethan haben, bin ich mitzutheilen für jetzt noch nicht im Stande. Noch weniger bin ich bereits im Besitze einer genaueren Rangordnung der Flüssigkeiten nach der Schnelligkeit der durch sie bedingten Entwickelung, welche also, dem eben Gesagten gemäfs, im Allgemeinen die umgekehrte der ersteren sein würde. Die Folge wird lehren, dafs sich das Aufstellen solcher Rangordnungen der Mühe nicht verlohnen würde.

Der oben S. 51 von uns bemerkte Unterschied hinsichtlich der Schnelligkeit und Stärke zwischen der Entwickelung durch Hühnerei-

Digitized by Google

weifs und der durch Kochsalzlösung stellt sich jetzt, wie man sieht, nur als ein besonderer Fall von der hier gemachten allgemeinen Wahrnehmung heraus. Die hier befolgte Methode zur Prüfung der Flüssigkeiten auf die vergleichweise Stärke der durch sie bedingten Entwickelung kann dazu dienen, jenen Unterschied noch deutlicher hervortreten zu lassen, als es uns früher durch die Vergleichung des Erfolgs an verschiedenen Muskeln möglich war. Der durch Hühnereiweifs vollständig entwickelte Strom geht beim Benetzen des natürlichen Querschnittes mit Kochsalzlösung noch beträchtlich höher.

Wenn es aber früher stets geheifsen hat, unter gewissen Umständen habe sich der Strom vollständig entwickelt, so bedarf diese Ausdrucksweise jetzt sichtlich einer näheren Bestimmung. Der Strom schien uns, in jenen Fällen, vollständig entwickelt nur darum, weil die Flüssigkeit, womit der natürliche Querschnitt benetzt war, ihn gerade nicht höher zu entwickeln vermochte. Eine andere Flüssigkeit hätte ihn wohl noch höher getrieben; was aber den Strom wirklich vollständig entwickeln sei, und welche Forderung eine Flüssigkeit zu erfüllen habe, die dies leisten solle, davon wird an einer späteren Stelle die Rede sein, wenn wir in das Wesen des Entwickelungsvorganges erst etwas tiefer eingedrungen sind.

Die bisher als entwickelnd aufgeführten Flüssigkeiten kommen überein in verschiedenen Eigenschaften. Mit Ausnahme des Hühnereiweifses sind sie erstens sämmtlich fähig, die organische Substanz lebhaft anzugreifen. Sie sind zweitens sämmtlich Leiter des elektrischen Stromes, und zwar abermals mit Ausnahme des Hühnereiweifses bessere als die thierischen Gebilde. Vermöge ihrer doppelten Eigenschaft als Leiter aber und als chemisch wirksame Stoffe sind sie auch sämmtlich im Stande, im Verein mit den thierischen Theilen Ketten aus mehreren Flüssigkeiten darzustellen.

Man könnte daher jetzt den Verdacht fassen, dafs der ganze Anschein der Stromentwickelung lediglich auf einer solchen Kettenbildung oder gar nur auf einer Widerstandsverminderung des sehnigen Ueberzuges über den natürlichen Querschnitt beruhe. Es ist leicht, diesen Verdacht schon allein mit Hülfe des bisherigen Kreises von Thatsachen zu widerlegen.

Wie soll eine Kette aus mehreren Flüssigkeiten hier zu Stande kommen, wenn nur ein Theil der Oberfläche des mit sehnigen Enden aufliegenden Muskels, der natürliche Querschnitt, mit der entwickelnden Flüssigkeit bestrichen wird, oder wenn, bei der Kochsalzlösung als entwickelnder Flüssigkeit, der ganze Muskel, mit Inbegriff der sehnigen Enden, in derselben Flüssigkeit gebadet wird, womit die Bäusche

Digitized by Google

getränkt sind? Wie soll die Kettenbildung dagegen ausbleiben, wenn der Längsschnitt die gleiche Behandlung erfährt? Wie die Richtung des entstehenden Stromes von der chemischen Beschaffenheit der Flüssigkeiten ganz unabhängig sein? Und so kann man denn auch einen faulenden Muskel, der mit sehnigen Enden zwischen den Bäuschen stromlos aufliegt, mit Salpetersäure, Chlorwasserstoffsäure, Kalihydratlösung, Ammoniakflüssigkeit benetzen so viel man will: man erhält keine Spur von Entwickelung eines positiven Stromes, keine Nadelbewegung, so wenig als wenn man einen Tropfen Säure auf einen metallischen Leiter bringt, der den Multiplicator zum Kreise schliefst.

Was vollends die Verminderung des Widerstandes des sehnigen Ueberzuges betrifft, so haben wir ja im Gegentheil erst eben erfahren, dafs, wenn bereits positiver Strom gegenwärtig ist, dem positiven Ausschlage wegen Stromentwickelung ein negativer Vorschlag vorhergeht. Daraus erhellt, dafs der sehnige Ueberzug nicht als Widerstand, der auf dem Wege des Stromes liegt, sondern als Nebenschliefsung in die Anordnung eingeht; die Verminderung des Widerstandes dieser Nebenschliefsung hat Verminderung statt Vermehrung der Stromstärke im Multiplicatorkreise zur Folge. Wenn ferner noch negativer Strom vorhanden ist, so ist die Wirkung des Benetzens mit den gut leitenden Flüssigkeiten nicht die Verstärkung des Stromes, sondern die Umkehr desselben in die positive Richtung.

(m) Entwickelung des Stromes parelektronomischer Muskeln durch Benetzen des natürlichen Querschnittes mit nicht leitenden Flüssigkeiten.

Doch die Betrachtungen dieser Art, so schlagend sie sind, können wir uns füglich ganz ersparen. Suchen wir lieber, unserem Eingangs vorgezeichneten Plane gemäfs, durch Anwendung von Flüssigkeiten, welche schlechte oder gar Nichtleiter des elektrischen Stromes sind, zu erkennen, ob die im Verhältnifs zu der der thierischen Theile mehr oder weniger grofse Leitungsfähigkeit der bisher geprüften Flüssigkeiten, ja ihre Leitungsfähigkeit überhaupt, worauf zugleich ihre Fähigkeit zur Kettenbildung beruht, eine zur Entwickelung wesentliche oder unwesentliche Eigenschaft gewesen sei.

Schon haben wir, im Hühnereiweifs, das Beispiel einer Flüssigkeit, welche, ohne die Froschmuskeln erweislich an Leitungsfähigkeit zu übertreffen, die Entwickelung des Stromes herbeizuführen im Stande ist, freilich in ungleich längerer Zeit und schwächerem Grade, als die an Leitungsgüte überlegenen sauren, salzigen und alkalischen Flüssigkeiten. Dem Hühnereiweifs ähnlich, nur noch träger und schwächer, wirken bei-

Digitized by Google

häufig Brunnenwasser und destillirtes Wasser, welche den thierischen Theilen an Leitungsfähigkeit sogar unterlegen sind. Ja man kann den Widerstand des Wassers noch dadurch erhöhen, dafs man es mit Rohrzucker sättigt,[1] und nicht nur wird die entwickelnde Kraft des Wassers dadurch nicht vermindert, sondern sogar merklich erhöht. Da bei diesen Flüssigkeiten die entwickelnde Wirkung nicht im ersten Augenblick hervortritt, wie bei den Säuren u. s. w., und da die Verunreinigung der sehnigen Enden mit den Flüssigkeiten hier nichts zu sagen hat, so thut man wohl, anstatt den zwischen den Bäuschen stromlos aufliegenden Gastroknemius damit zu betupfen, wie oben S. 55 empfohlen wurde, das andere Verfahren einzuschlagen, und den Muskel einfach eine hinreichende Zeit lang in den Flüssigkeiten zu baden.

Schon das Verhalten der gesättigten Rohrzuckerlösung zeigt, dafs die geringere Wirksamkeit des Wassers nicht auf seiner geringeren Leitungsfähigkeit beruhen könne. Vollends erhellt dies aus folgenden Versuchen. Nämlich ich schritt nun endlich dazu, auch solche Flüssigkeiten auf ihre stromentwickelnde Fähigkeit zu prüfen, welche Nichtleiter des elektrischen Stromes sind, und deren geringe Leitungsfähigkeit, wenn sich solche an ihnen kundgiebt, ihrem Gehalt an Wasser zuzuschreiben ist. Ich wählte Alkohol, Holzgeist, Essiggeist (Aceton), Schwefeläther, Essigäther, Kreosot, Terpenthinöl, Mandelöl, Olivenöl. Vom Alkohol, dem Schwefeläther, dem Terpenthinöl und den fetten Oelen ist es längst bekannt, dafs sie nicht leiten (Vergl. oben Abth. I. S. 111). Von den übrigen Flüssigkeiten konnte, nach ihrer chemischen Natur, mit Hinblick auf Faraday's Lehre,[2] zwar mit äufserster Wahrscheinlichkeit dasselbe angenommen werden; auch haben sich Holzgeist[3] und Kreosot[4] bereits in Versuchen Anderer als Nichtleiter erwiesen; doch unterliefs ich nicht, mich noch besonders davon durch folgendes immerhin rohe, aber für den Zweck hinlängliche Verfahren zu überzeu-

[1] Ueber die geringe Leitungsfähigkeit von Honig und Sirup s. Volta bei Humphry Davy in Philosophical Transactions etc. For the Year 1829. P. I. p. 16;* — Bibliothèque universelle etc. Ancienne Série. Sciences et Arts. t. XLI. p. 101;* — Annales de Chimie et de Physique. 1829. t. XLI. p. 440;* — Poggendorff's Annalen u. s. w. 1829. Bd. XVI. S. 313.*

[2] Experimental Researches in Electricity. Reprinted from the Philosophical Transactions. vol. I. London 1839. p. 201. Series VII. January 1834. No. 679;* — Poggendorff's Annalen u. s. w. Bd. XXXIII. S. 309.*

[3] Ueber das Verhalten des Holzgeistes bei der Elektrolyse s. Arthur Connell in The Philosophical Magazine etc. 3. Series. 1841. vol. XVIII. p. 355;* — Archives de l'Électricité. 1841. t. I. p. 413.*

[4] Reichenbach in Schweigger-Seidel's Neuem Jahrbuch der Chemie und Physik. 1832. Bd. VI. S. 310.*

Digitized by Google

gen. In den Kreis des Multiplicators für den Muskelstrom brachte ich eine GROVE'sche Kette der kleineren oben Bd. I. S. 446 beschriebenen Art und ein Paar Kupferelektroden von 10 Quadratcentimetern einander zugekehrter Oberfläche. Zwischen die Elektroden legte ich ein mehrdoppeltes Stück Fliefspapier, welches mit der zu prüfenden Flüssigkeit getränkt war. Zuerst, und um einen Vergleichspunkt zu gewinnen, tränkte ich es mit dem Alkohol, der zu den Versuchen gedient hatte. Obschon der Alkohol nahe absolut war (von 0.799 Dichte oder etwa 99 Procent dem Volum nach Alkoholgehalt), wurde die Nadel beim Schliefsen mit äufserster Heftigkeit an die Hemmung geschleudert. Erst als ich nur die halbe Multiplicatorlänge in den Kreis nahm und auch zu dieser noch eine Nebenschliefsung von verhältnifsmäfsig sehr geringem Widerstand anbrachte (die inducirende Rolle meines oben Abth. I. S. 393. Anm. 1 erwähnten Magnetelektromotors, etwa $12^m.6$ eines 1^{mm} dicken Kupferdrahtes), erhielt ich beim Schliefsen einen Ausschlag von brauchbarer Gröfse, etwa 20°. Fliefspapier mit Holzgeist getränkt zwischen den Kupferelektroden gab einen eben so starken Ausschlag als Alkohol. Hingegen bei Tränkung des Fliefspapiers mit Essiggeist, Essigäther und Kreosot ging die Nadel nur auf 2 — 3°.

Als ich aber mit diesen nichtleitenden Flüssigkeiten den natürlichen Querschnitt bestrich, fand ich, dafs sie, mit Ausnahme der fetten Oele, sämmtlich den Strom so gut entwickeln, wie die Salzlösungen, die sauren und alkalischen Flüssigkeiten. Kreosot wirkte am schnellsten und stärksten; es trieb die Nadel sofort auf 70 — 80°. Die übrigen Flüssigkeiten brachten schwächere positive Ausschläge hervor, den schwächsten Schwefeläther, allein bei erneuter Prüfung des Muskels flog bei allen die Nadel an die positive Hemmung. Auch hier zeigte sich von zwei Flüssigkeiten die eine noch entwickelnd, nachdem die andere bereits schien ihr Aeufserstes gethan zu haben; z. B. Alkohol nach Terpenthinöl, Kreosot nach Alkohol.

Die fetten Oele liefsen beim Bepinseln des Querschnittes keine Wirkung erkennen. Als aber die Muskeln einige Stunden lang darin gelegen hatten, blieb die Stromentwickelung nicht aus, obschon sie allerdings nur spurweise, im Bereich von höchstens 15°, stattfand.

(IV) Die leitenden und nicht leitenden stromentwickelnden Flüssigkeiten kommen überein darin, dafs sie die organische Substanz angreifen.

Nach diesen neuen Erfahrungen ist, wie man sieht, bei der Erscheinung der Stromentwickelung in keiner Art mehr zu denken an eine Kettenbildung oder an eine Verminderung des Widerstandes durch

Digitized by Google

die fremde Flüssigkeit. Auch bleibt hier, wie natürlich, wenn der Muskel bereits positiven Strom hat, der negative Vorschlag aus, der bei den gut leitenden und zugleich langsamer entwickelnden Flüssigkeiten beobachtet wird und den wir also richtig dahin deuteten, dafs die Flüssigkeit eher durch Nebenschliefsung als durch Stromentwickelung ihre Gegenwart geltend macht. Dafs es aber jetzt nicht umgekehrt die Vermehrung des Widerstandes des sehnigen Ueberzuges sein kann, welche den Anschein einer Stromentwickelung bedingt, ergiebt sich daraus, dafs bei noch bestehendem negativen Strome die Folge der Benetzung mit den nichtleitenden entwickelnden Flüssigkeiten nicht Verstärkung des Stromes, sondern Schwächung bis Umkehr in die positive Richtung ist.

Ueberlegen wir uns aber, welche gemeinsame Eigenschaft wohl den entwickelnden Flüssigkeiten aus beiden Klassen, den leitenden und den nichtleitenden, zukomme, auf der die entwickelnde Fähigkeit beruhen möge, so bietet sich jetzt nur noch die eine dar, dafs sie alle mehr oder weniger fähig sind, die organische Substanz anzugreifen, durch Gerinnen des Eiweifses und des Faserstoffes, durch Entziehen des Wassergehaltes u. s. f. Der Zuckerlösung und dem Hühnereiweifs wird wenigstens die letztere Art der Wirkung nicht abzusprechen sein; gepülverter Zucker ist übrigens längst den Wundärzten als Aetzmittel bekannt. Das Brunnenwasser und das destillirte Wasser diffundiren sich mit den thierischen Flüssigkeiten, worauf ihre der Erregbarkeit verderbliche Wirkung beruht (S. oben Abth. I. S. 183. Anm. 2). Beim Terpenthinöl ist zu bemerken, dafs, wenn es sich dem Anschein nach nicht merklich mit Wasser mischt, es doch sowohl in Dampfgestalt von den Lungen aus, als in Substanz vom Darmkanal und der Haut aus, die Nierenabsonderung bethätigt und verändert, dafs also auch hier die Möglichkeit vorhanden ist, dafs es durch den sehnigen Ueberzug hindurch verändernd auf den natürlichen Querschnitt wirke. Was endlich die fetten Oele anlangt, so erinnere ich an die merkwürdigen chemischen Wirkungen, die bei ihrer Berührung mit mehreren thierischen Flüssigkeiten, insbesondere Eiweifs und Blutwasser, Platz greifen, und zur Bildung von Häuten, der sogenannten Haptogenmembran, Anlafs geben.[1]

Es hat demnach jetzt den Anschein, als liege in dem Anätzen des natürlichen Querschnittes die Ursache der Stromentwickelung an den parelektronomischen Muskeln. Damit stimmt denn auch noch die Wahrnehmung, deren hier gedacht werden mag, dafs nämlich Frosch-

[1] S. Aschrrson in Joh. Müller's Archiv u. s. w. Jahrgang 1840. S. 44.

Digitized by Google

blut auch nach längster Einwirkung so gut wie gar nicht entwickelt. In der That möchte es nicht leicht eine Flüssigkeit geben, deren Berührung für den natürlichen Querschnitt minder gefahrbringend wäre, als eben das Blut; es sei denn die Lymphe, welche im Zustande des unversehrten Lebens die in die Lymphräume gekehrten natürlichen Oberflächen der Muskeln bespühlt.

Dafs das Anätzen des natürlichen Querschnittes im Stande sein solle, den positiven Strom an den Muskeln hervorzurufen, mag beim ersten Anblick völlig unbegreiflich scheinen. Nichtsdestoweniger wird es uns gelingen, nicht allein aufser Zweifel zu setzen, dafs wirklich in dem Anätzen des natürlichen Querschnittes der Grund der Stromentwickelung liege, sondern auch eine ganz klare Vorstellung von diesem Vorgange zu geben. Zuvor wollen wir jedoch unsere Aufmerksamkeit jener anderen Art der Stromentwickelung zuwenden, welche wir oben S. 41. 42 bereits kennen lernten, und die mit der jetzt untersuchten so gar nichts gemein zu haben scheint, derjenigen nämlich durch Untertauchen der Muskeln unter Quecksilber.

8. Von der Stromentwickelung an den parelektronomischen Muskeln durch Anlegen von Metallen an ihren natürlichen Querschnitt.

Man erinnert sich aus der Versuchsreihe, durch die wir die Unabhängigkeit des Entwickelungsvorganges von dem Sauerstoff der Luft erwiesen, dafs, damals zu unserem gröfsten Erstaunen, Untertauchen der parelektronomischen Gliedmafsen unter Quecksilber den Strom nach einiger Zeit hervorrief. Als es später bei oberflächlicher Kenntnifs schien, als sei das Anlegen eines leitenden Bogens überhaupt an die parelektronomischen Muskeln das Bedingende der Stromentwickelung, däuchte uns auch jener Erfolg nicht mehr so fremdartig. Vielmehr erblickten wir eine vorläufige Bestätigung dieser neuen Vorstellungsweise in dem Umstande, dafs sie auch den Fall der Stromentwickelung durch das Quecksilberbad in sich befafste (S. oben S. 43).

Jetzt hat sich das Blatt wiederum gewendet. Wir wissen nun, dafs in allen jenen Fällen, wo wir dem Anlegen eines leitenden Bogens an die parelektronomischen Gliedmafsen die Stromentwickelung zuschrieben, dieser Bogen unnütz war. Die Stromentwickelung erfolgte schon allein in Folge des Angriffes des natürlichen Querschnittes der Muskeln entweder durch die Kochsalzlösung der Zuleitungsgefäfse oder durch das Hühnereiweifs des Eiweifshäutchens, womit der die Ausbreitung der Achillessehne tragende Bausch bekleidet war. Eine Wirkung der

Digitized by Google

Art nun, sollte man meinen, könne man der Berührung des Quecksilbers nicht beimessen.

Es entsteht aber folgende Frage. Freilich reichte, in jenen Versuchen, das Benetzen des natürlichen Querschnittes mit der Lösung und dem Hühnereiweifs zur Stromentwickelung aus, und machte den angelegten leitenden Bogen unnütz. Dies beweist aber nicht, dafs nicht in einem Falle, wo keine entwickelnde Flüssigkeit den natürlichen Querschnitt benetzt, die Stromentwickelung, wiewohl langsamer, durch das blofse Anlegen eines leitenden Bogens an Längs- und Querschnitt bewirkt werden könne. Wäre dies der Fall, so würde sich die Wirksamkeit des Quecksilberbades leicht ableiten lassen. Es kann übrigens nicht schwer sein, mit Hülfe des Versuches darüber in's Reine zu kommen.

Ich begann damit, dafs ich einen parelektronomischen Gastroknemius, statt ihn unter das Quecksilber zu tauchen, nur mit dem natürlichen Querschnitt damit in Berührung brachte. Dazu liefs ich den Muskel mit seiner Rückenfläche auf einem reinen Quecksilberspiegel schwimmen, hielt aber den natürlichen Längsschnitt von dem Quecksilber getrennt, indem ich entweder zwischen beiden ein Glimmerblättchen schwimmen liefs, oder indem ich an den Kopf des Muskels einen Faden band, an dem ich den Muskel so weit vom Quecksilber abheben konnte, dafs er es nur mit der Ausbreitung der Achillessehne berührte.

Ich fand aber, zu meiner nicht geringen Verwunderung, dafs auch auf diese Art nach Verlauf von ein bis zwei Stunden Stromentwickelung eintrat. Zwar schien sie oft schwächer, als beim Untertauchen des Muskels unter Quecksilber, wobei auf dieselbe Art verfahren wird, wie beim Untertauchen eines ganzen Beines oder Galvani'schen Präparates, indem man die Schlinge um die Achillessehne, oberhalb des Sesamknorpels, anbringt (S. oben S. 41). Indessen ist zu beachten, dafs bei dem Schwimmen des Muskels mit seiner Rückenfläche auf Quecksilber zu beiden Seiten immer ein Streifen sehniger Ausbreitung von der Berührung des Metalles frei bleibt, weil der Muskel nicht tief genug geht. Unstreitig beruht hierauf der etwaige Unterschied in der Entwickelung der untergetauchten und der nur mit natürlichem Querschnitt berührenden Muskeln, und nicht auf dem Umstande, dafs beim Untertauchen ein Bogen zwischen Längs- und Querschnitt hergestellt wird. Dies geht daraus hervor, dafs, wenn man einen Muskel mit seiner Rückenfläche einfach auf Quecksilber schwimmen läfst, ohne den natürlichen Längsschnitt auf die eine oder die andere Art davon zu trennen, die Stromentwickelung an Stärke die

Digitized by Google

durch alleinige Berührung des Querschnittes nicht mehr merklich übertrifft. Liefs ich den Muskel allein mit Längsschnitt das flüssige Metall berühren, so entwickelte der Strom sich nicht oder nur spurweise.

Man sieht daher, dafs die Voraussetzung, als wirke das Quecksilberbad entwickelnd durch Herstellung einer vorzüglichen Leitung zwischen Längs- und Querschnitt, entschieden als gefallen zu betrachten ist. Es ist jedoch nicht nöthig, uns hier viel um neue Muthmafsungen der Art zu bemühen; eine auf der Hand liegende Abänderung der Versuchsweise wird uns den erwünschten Aufschlufs ohne weiteres entgegentragen. Wir hatten die parelektronomischen Gliedmafsen unter Quecksilber getaucht, um sie von der Luft abzusperren. Jetzt wissen wir, dafs das Untertauchen zu der dabei stattfindenden Entwickelung ganz unnöthig war. Wir sind also auch gar nicht mehr gebunden an die Anwendung eines flüssigen Metalles, des einen Quecksilbers. Sehen wir daher zu, wie sich die Erscheinung mit anderen Metallen gestalten möge.

Ich begann mit Platin. Parelektronomische Gastroknemien wurden theils nur mit der Ausbreitung der Achillessehne, theils mit der ganzen Rückenfläche auf frisch geglühtes Platinblech gelegt und, vor der Trocknifs geschützt, viele Stunden lang beobachtet. Es gab sich keine Spur von Stromentwickelung kund.

Jetzt begab ich mich an das entgegengesetzte Ende der galvanischen Spannungsreihe der Metalle. Als ich den nämlichen Versuch mit Zinkblech wiederholte, fand ich nach kurzer Zeit den Strom stark entwickelt. Das Zink war mit Sandpapier, nicht mit Schmirgelpapier und auch nicht mit der Feile vor dem Versuch blank gerieben. Gleich dem Zink, ja, wie mir schien, noch stärker entwickelnd, verhielt sich frisch verquicktes Zink, welches sorgfältig von der Schwefelsäure befreit war, die zum Anquicken gedient hatte.

Hingegen gleich dem Platin in dem obigen Versuche verhielt sich auch frisch geglühtes Dukatengoldblech und Silberblech. Doch liefs das letztere, in einigen Fällen, bereits Spuren von Entwickelung erkennen. Mit Sandpapier polirtes Kupfer- und Zinnblech und weiches Eisen endlich glichen in ihrer Entwickelungsfähigkeit ziemlich dem Quecksilber. In allen diesen Fällen erwies es sich übrigens wieder so gut wie gleichgültig, ob die Muskeln den Metallen mit ihrer Rückenfläche entlang gelegt waren, oder ob sie sie nur mit der Ausbreitung der Achillessehne berührten. Berührte nur der Längsschnitt das Metall, so blieb, bei den entwickelnden Metallen, die Stromentwickelung aus, oder zeigte sich wenigstens nur spurweise.

Es versteht sich, dafs man bei diesen Versuchen die gröfste Ob-

Digitized by Google

hat zu verwenden hat darauf, dafs nicht von der anfänglichen Prüfung der Muskeln auf den Entwickelungszustand ihres Stromes Salzlösung an den sehnigen Enden haften bleibe und sich nachmals in den capillaren Raum zwischen Muskel und Metall verbreite. Es würde dadurch das Ergebnifs der Versuche, welche ein verneinendes in Bezug auf Stromentwickelung liefern sollen, ein bejahendes werden; das bejahende Ergebnifs der Versuche aber, von denen ein solches erwartet wird, würde illusorisch sein.

Diese Versuche können keinen Zweifel daran übrig lassen, dafs die entwickelnde Fähigkeit der Metalle Hand in Hand gehe mit ihrer elektropositiven Beschaffenheit. Was diese nun könne mit der Stromentwickelung an den parelektronomischen Muskeln zu schaffen haben, geht aus folgender Bemerkung hervor.

Auf denjenigen Metallen, welche entwickelnd zu wirken vermögen, bleibt nach mehrstündigem Aufenthalte der Muskeln an dem Orte, wo diese lagen, ein Abbild davon mit einer Flüssigkeit gezeichnet zurück, die stellenweise das Lackmuspapier lebhaft röthet, stellenweise es lebhaft bläut. Vorzüglich ist dies der Fall beim Zink und dem verquickten Zinke, wo die Flüssigkeit milchig aussieht. Natürlich ist auch die Rückenfläche der Muskeln, welche auf den Metallen lag, mit derselben Flüssigkeit bekleidet, und zeigt die nämlichen Reactionen.

Die zum Theil sauer, zum Theil alkalisch reagirende Flüssigkeit kann von nichts herrühren, als von der Elektrolyse der in den thierischen Säften enthaltenen Salze, welche durch irgendwelche Ströme herbeigeführt worden ist. Diese Ströme müssen aber noch von etwas anderem herstammen als von dem Muskel selber. Denn die Flüssigkeit wird nicht minder erzeugt, wenn man auf eine Zinkplatte einen im parelektronomischen Zustande unwirksamen Muskel nur mit Längsschnitt auflegt, wobei keine Entwickelung stattfindet. Die Gegenwart jener Ströme erklärt sich aber, wenn man sich der Versuche Jäger's erinnert, durch welche dieser lehrte, die Ungleichartigkeit der Oberfläche scheinbar gleichartiger Metalle nachzuweisen. Es ist dieser Versuche bereits oben Bd. I. S. 613 gedacht worden und wir selber haben sie daselbst nachgeahmt und bestätigt. Feuchte Reagenzpapiere werden über die zu prüfende Fläche gebreitet; nach einiger Zeit findet man sie bedeckt mit Zeichnungen, welche die vergleichsweise elektropositive und -negative Natur der verschiedenen Punkte des Metalls anzeigen. Diese Versuche gelingen nur mit den positiveren Metallen, am besten mit dem Zink.

In dem Falle, wo der Muskel entweder noch negativen, oder schon positiven Strom besitzt, ist für die Entstehung solcher Ströme,

Digitized by Google

wie wir hier ihrer bedürfen, unstreitig noch ein fernerer Grund gegeben, und zwar nicht blos wenn der Muskel mit Längs- und Querschnitt aufliegt, sondern auch wenn nur der Querschnitt oder nur der Längsschnitt das Metall berühren. Wenn diese Ströme auf den negativen Metallen nicht im Stande sind, die Ströme durch Ungleichartigkeit der metallischen Fläche zu ersetzen, so liegt dies einestheils wohl an ihrer geringen ursprünglichen Stärke, anderntheils an der gröfseren Ladungsfähigkeit der negativen Metalle. Dafs aber die Positivität der Metalle mit der Stromentwickelung wirklich nicht anders zusammenhängt, als insofern sie die Entstehung elektrischer Ströme begünstigt, läfst sich leicht folgendermafsen darthun.

Ist nämlich diese Voraussetzung richtig, so mufs sich die entwickelnde Kraft der positiven Metalle noch steigern lassen dadurch, dafs man die Ungleichartigkeit ihrer Oberfläche künstlich erhöht, trotzdem dafs es auf Kosten der Positivität des Ganzen geschieht. Wirklich ist dies der Fall. Von zwei Gastroknemien, die sich auf gleicher Stufe des parelektronomischen Zustandes befanden, legte ich den einen in eine mit Sandpapier polirte Rinne von Zinkblech, die sich an die Rückenfläche und die beiden Seitenflächen des Muskels überall anschlofs, den anderen in ein Bett von Kupfer- und Zinkfeilspänen. Der Strom des letzteren zeigte sich hoch entwickelt zu einer Zeit, wo der des ersteren erst hervorzutreten begann. Ja sogar ein Gemenge von Kupfer- und Zinnfeilspänen zeigte sich schneller entwickelnd als die reine Zinkfläche, obschon jeder der Gemengtheile negativer war, als das Zink.

Die Muskeln, die in die Feilspäne gelegt wurden, zeigten beiläufig ein merkwürdiges Verhalten. Sie waren nämlich unablässig in kleinen Zuckungen ihrer einzelnen Theile begriffen, die ihre Kräfte dergestalt aufrieben, dafs sie nach Verlauf von ein bis zwei Stunden nicht mehr vermochten, auf die stärksten Schläge meiner Inductionsvorrichtungen zu antworten, zu einer Zeit, wo die zum Vergleich auf Zink gelegten Muskeln noch kaum eine Abnahme ihrer Leistungsfähigkeit erkennen liefsen.

So überraschend sich diese Erscheinung auf den ersten Blick darstellt, so leicht erklärt sie sich bei näherer Ueberlegung. Der Strom zwischen einem Kupfer- und einem Zinkspan, die sich an der Oberfläche des Muskels berühren, mufs, in dem Bezirk des Muskels zunächst der gemeinschaftlichen Berührungsstelle, eine sehr ansehnliche Stärke erlangen, eine solche, die bei weitem hinreicht, bei raschen und ausgedehnten Schwankungen ihrer Gröfse Zuckungen zu erregen.

Digitized by Google

Aber die erste Partialzuckung, die auf diese Weise zu Stande kommt, wird durch Veränderung der Lage der Späne am Muskel und der Polarisation Anlafs zu neuen Partialzuckungen; diese verhindern abermals die Herstellung eines beständigen Zustandes sämmtlicher Ströme, es entstehen von Neuem Schwankungen und dem entsprechend Partialzuckungen und so fort bis zum Tode des Muskels.

Die Flüssigkeit, die sich auf den positiveren Metallen durch Elektrolyse an der Berührungsstelle des Muskels bildet, ist im Stande, den Strom eines parelektronomischen Muskels zu entwickeln. Zwar ist die Menge dieser Flüssigkeit zu gering, um sie gesondert aufzufangen und den natürlichen Querschnitt eines anderen Muskels damit zu benetzen. Allein der Versuch läfst sich leicht in der Weise anstellen, dafs man den parelektronomischen Muskel ein bis zwei Stunden auf Muskeln lagert, welche ihrerseits ein paar Stunden auf Zink gebettet waren. Dabei mufs die Rückenfläche des ersteren Muskels natürlich die Punkte der letzteren Muskeln berühren, die sich, in Folge ihrer Berührung mit dem Zink, mit der Flüssigkeit überzogen haben, deren entwickelnde Fähigkeit nachgewiesen werden soll. Die fortgesetzte Berührung der natürlichen Flächen von Muskeln in ihrem natürlichen Zustande läfst begreiflich den Strom ganz unentwickelt.[1] Unter den in Rede stehenden Umständen aber tritt er bald gerade so hervor, als ob der Muskel wirklich auf Zink gebettet worden wäre.

Es bieten sich nunmehr, für die Erklärung der Stromentwickelung durch Anlegen positiver Metalle an den natürlichen Querschnitt, zweierlei Wege dar. Man kann erstlich sagen, diese Art der Entwickelung komme mit der uns früher bekannt gewordenen durch Anätzen des Querschnittes in allen Stücken überein, nur dafs wir, anstatt die ätzende Flüssigkeit mit dem Pinsel auf den Querschnitt aufzutragen, sie hier, umständlicher und viel weniger sicher, erst durch Elektrolyse am Querschnitt sich hätten bilden lassen. Man kann aber auch zweitens sagen, die Entwickelung durch die positiven Metalle sei bereits die Folge allein der Elektrolyse des natürlichen Querschnittes; die Elektrolyse ersetze hier den chemischen Angriff durch die entwickelnde Flüssigkeit in unseren früheren Versuchen, und die sich durch die Elektrolyse bildende Flüssigkeit von ätzender Natur brauche demnach zur Entwickelung nichts mehr zu thun; sie könne nur vielleicht den Grad derselben bestimmen helfen, da es ja, wie wir jetzt wissen (S. oben S. 58), durch Umstände, die uns noch verborgen sind, bedingt, verschiedene Grade der Entwickelung giebt.

[1] Vergl. unten, No. 9 (m).

Digitized by Google

Die Art, zwischen diesen beiden Möglichkeiten zu entscheiden, würde sichtlich sein, die Wirkung der Elektrolyse und die der ausgeschiedenen Zersetzungsstoffe im Versuch von einander zu trennen. Dies geht nun zwar für die letztere Wirkung von statten, wie wir so eben gesehen haben; die Wirkung der Elektrolyse hingegen läfst sich leider nicht in gleicher Weise vereinzeln.

Es ist nämlich zu bemerken, dafs es, um allein eine oberflächliche Schicht des Muskels starken Strömen auszusetzen, ohne zugleich auf gröfsere Tiefen verderblich einzuwirken, eben kein Mittel giebt als das, worauf wir hier durch Zufall geführt worden sind, nämlich der betreffenden Gegend der Muskeloberfläche kleine Elektrodenpaare dichtgedrängt anzulegen, wie die verschiedenen Punkte der ungleichartigen Metalloberfläche sie gewissermafsen darstellen. Zwischen den einander zunächst gelegenen positiven und negativen Gliedern dieser Elektrodenpaare kreisen alsdann wegen der Kürze der Bahnen verhältnifsmäfsig sehr starke Ströme, während in jeder gröfseren Entfernung von der Muskeloberfläche die Ströme nicht nur wegen der wachsenden Länge der Bahnen sehr an Stärke verlieren, sondern sich auch einander vielfach beeinträchtigen, ja aufheben müssen. Wollte man nun zwischen diese Elektrodenmosaïk, wenn der Ausdruck vergönnt ist, und den natürlichen Querschnitt, um diesen vor der Einwirkung der Zersetzungsstoffe zu schützen und ihn der Elektrolyse allein preiszugeben, eine Schicht nicht entwickelnden feuchten Leiters, z. B. Froschblutes (S. oben S. 63. 64), anbringen, so versetzt man den Querschnitt in die Bedingungen, unter denen sich vorher die entferntere Schicht des Muskels befand, d. h. die ihn durchkreisenden Ströme sind bei weitem schwächer und heben einander zum gröfsten Theil auf. In der That verhindert denn auch die Einschaltung eines mit Blut getränkten mehrdoppelten Streifens Fliefspapier zwischen den natürlichen Querschnitt und das positive Metall die Stromentwickelung vollständig, vielleicht nur deshalb, weil die Zersetzungsstoffe vom Anätzen des Querschnittes abgehalten werden, vielleicht aber auch, weil die unmittelbare Wirkung der Elektrolyse auf den Querschnitt dadurch aus den erwähnten Gründen verloren geht. Und man sieht leicht, dafs es unter diesen Umständen zu nichts helfen würde, die Ströme dadurch zu verstärken, dafs man sie, statt durch die ungleichartigen Punkte einer und derselben Metalloberfläche, hervorbrächte durch eine Säule von beliebiger Kraft und sie dem natürlichen Querschnitt durch eine Elektrodenmosaïk zuführte, welche der Querschnitt eines Bündels von einander isolirter Drähte wäre, von denen die Hälfte mit dem einen, die andere Hälfte mit dem anderen Ende der Säule in Verbindung stände. Die Ströme

Digitized by Google

würden in einiger Entfernung von den Elektroden einander nicht minder aufheben, wenn auch die etwa übrig bleibenden Resultanten stärker ausfielen; und da, je weiter man sich von den Elektroden entfernt, um so langsamer die Stärke der Ströme abnimmt, so würde sich die durch sie verübte verderbliche Elektrolyse nun nicht blos auf den Querschnitt beschränken, sondern auf eine gröfsere Tiefe des Muskels erstrecken. Dafs aber bei allgemeiner Zerstörung des Muskels durch Elektrolyse von einer Entwickelung des Muskelstromes nicht mehr die Rede sein könne, bedarf nicht des Beweises. Käme aber auch auf diese Weise Entwickelung des Stromes jener Muskeltheile zu Stande, welche etwa minder hart betroffen würden, so würde man doch nicht einmal sicher sein, dafs die Entwickelung von der Elektrolyse herstamme. Denn man erinnert sich von unserer Untersuchung über die Peltier'schen Ladungen her (S. oben Bd. I. S. 379), dafs sich die thierischen Gewebe auf der Bahn des Stromes nicht ganz als feuchte Leiter verhalten, sondern dafs an ihren Grenzen, wie an denen metallischer Leiter, Ausscheidung der Zersetzungsstoffe stattfindet. Es wird also immer noch dem Bedenken Raum bleiben, ob nicht von den so ausgeschiedenen Zersetzungsstoffen, statt von der Elektrolyse, die beobachtete Entwickelung herrühre.

Setzt man Muskeln starken elektrischen Strömen auf die gewöhnliche Art dauernd aus, so dafs sie ihrer ganzen Masse nach zwischen beliebigen Punkten ihrer Oberfläche in der einen oder anderen Richtung durchkreist werden, so ist nicht nur unfehlbar der ganze Muskel dem zerstörenden Einflufs der Elektrolyse preisgegeben, sondern es treten noch andere Störungen hinzu, die bei der vorhin erwogenen Versuchsweise durch die Mannigfaltigkeit in der Richtung der übrig bleibenden Stromresultanten wohl minder zu fürchten gewesen wären, und wodurch hier die sichere Beobachtung einer stattfindenden Stromentwickelung erschwert wird, ja unmöglich gemacht werden kann. Nämlich die Peltier'schen Ladungen selber verdecken jede andere Veränderung im elektromotorischen Zustande des Muskels, aufserdem aber kommt noch eine andere Erscheinung in Betracht, deren schon oben Abth. I. S. 331 im Vorübergehen gedacht worden ist, von der aber erst weiter unten ausführlich die Rede sein soll.[1] Mit dieser Versuchsweise ist demnach, beim jetzigen Stande unserer Kenntnisse, vollends nichts anzufangen.

Hingegen kann man mit schwachen Strömen eher auf die angegebene Weise verfahren, weil die letzterwähnte Erscheinung in der

[1] S. unten, §. IV.

Digitized by Google

That erst bei sehr bedeutender Stromdichte merklich wird, die Ströme wegen Ausgleichung der Peltier'schen Ladungen aber dann so geringfügig sind, dafs durch sie hindurch Schwankungen des elektromotorischen Zustandes der Muskeln sich bemerklich machen können.

Der Versuchsplan wird alsdann folgender. Man prüft den Muskel zwischen sehnigen Enden auf die Entwickelung seines Stromes, und bringt ihn, der zu beantwortenden Frage entsprechend, auf die eine oder die andere Art dergestalt in die Kette, dafs er aufsteigend durchströmt wird. Hat er genügende Zeit in der Kette zugebracht, so prüft man ihn abermals, und wird ihn alsdann, wegen der Peltier'schen Ladungen, stets absteigend wirksam finden. Allein sehr bald gleichen sich jene Ladungen ab; der Muskel nähert sich mehr und mehr seinem ursprünglichen Zustande positiver Wirksamkeit, und überschreitet ihn vielleicht zuletzt mehr oder weniger. Erreicht oder überschreitet er ihn, so kann man mit Bestimmtheit sagen, es habe Stromentwickelung stattgefunden, anfangs verdeckt durch die Peltier'schen Ladungen; denn wenn der Muskel ruhig sich selbst überlassen geblieben wäre, würde er an elektromotorischer Kraft ja vielmehr verloren haben. Erreicht der Muskel seinen ursprünglichen Grad positiver Wirksamkeit nicht wieder, so bleibt es ungewifs, ob sich an ihm Strom entwickelt habe oder nicht.

Ich setzte parelektronomische Gastroknemien mehrere Stunden lang dem Strom einer Grove'schen Kette der kleineren oben Bd. I. S. 446 beschriebenen Art zwischen Platinenden aus. Berührte der natürliche Querschnitt die positive Elektrode, so dafs er der Einwirkung der aufgesammelten Anionen preisgegeben war, so fand Stromentwickelung statt. Berührte er sie nicht, sei's dafs die Achillessehne die Verbindung herstellte, sei's dafs ein mit Blut getränkter Fliefspapierbausch den natürlichen Querschnitt vom Platin trennte, so blieb die Entwickelung aus. Im zweiten Falle gaben sich indessen einigemal Spuren davon zu erkennen. Es bleibt aber begreiflich ungewifs, ob sie herrührten von den durch den Muskel aufgehaltenen Kationen, oder ob sie der unmittelbaren Einwirkung des Stromes ihren Ursprung verdankten, welche in diesem Falle wohl stärker war, als beim Aufliegen mit sehnigen Enden.

Somit ist hier vor der Hand nichts zu thun übrig, als sich in Betreff der schwebenden Frage zu bescheiden. Glücklicherweise erscheint sie nur als von untergeordneter Wichtigkeit. Es ist gleichviel, in welcher Art des Angriffes des natürlichen Querschnittes die wahre Ursach der Entwickelung durch die positiven Metalle liege; ob in der durch die Elektrolyse selber, oder erst in der durch die ätzende

Digitized by Google

Flüssigkeit, welche das Erzeugnifs dieser Elektrolyse ist. Immer handelt es sich nun doch auch hier um nichts anderes mehr, als um einen Angriff des natürlichen Querschnittes, und der Widerspruch zwischen der Stromentwickelung durch das Quecksilberbad und der durch die ätzenden Flüssigkeiten ist nunmehr als geschlichtet anzusehen.

9. Von dem verschiedenen Verhalten des natürlichen und des künstlichen Querschnittes der Muskeln im parelektronomischen Zustande.

(1) Darlegung der hier zu entscheidenden Fragen.

Ehe wir weiter gehen, ist es jetzt nöthig, dafs wir einem Punkte von gröfster Wichtigkeit, den wir so lange gänzlich aufser Acht gelassen haben, unser Augenmerk zuwenden. Ich meine den bereits oben S. 36 im Allgemeinen erwähnten Unterschied zwischen dem Verhalten des natürlichen und des künstlichen Querschnittes im parelektronomischen Zustande der Muskeln.

Im Lauf unserer früheren Untersuchungen haben wir zwischen dem elektromotorischen Verhalten der beiden Arten des Querschnittes die vollkommenste Uebereinstimmung überall gefunden. Von dem natürlichen Querschnitt haben wir jetzt erkannt, dafs sein positiver Strom im parelektronomischen Zustande der Muskeln nicht sogleich vorhanden ist. Dieser Querschnitt bedarf alsdann, um gesetzmäfsig elektromotorisch zu wirken, einer gewissen Vorbereitung. Er mufs zuvor einem chemischen Angriff auf die eine oder die andere Weise ausgesetzt gewesen sein. In dem Mafs, als dieser Angriff heftiger und rascher erfolgt, sieht man den positiven Strom des natürlichen Querschnittes schneller und stärker hervortreten.

Von alledem bietet nun, wie man sich erinnert, der künstliche Querschnitt, wenigstens bei der gangbaren Art der Prüfung, keine sichere Spur dar. Nie findet man den künstlichen Querschnitt auch nur annähernd unwirksam, geschweige positiv gegen den Längsschnitt. Stets wird er gleich bei der ersten Prüfung stark negativ gefunden, wenn auch nicht so stark als im nicht erkälteten Zustande. Bei dieser Stufe der Wirksamkeit, auf der der künstliche Querschnitt sofort angetroffen wird, hat es aber sein Bewenden. Sein Strom entwickelt sich nicht weiter. Höchstens dafs es in sehr zahlreichen Versuchen ein paarmal vorkommt, dafs der zweite Ausschlag den ersten um ein paar Grade übertrifft. Wer aber bürgt dafür, dafs dies nicht, statt von einer Stromentwickelung nach Art der am natürlichen Querschnitt, herrühre von irgendwelchem anderen Umstande, von einer zufälligen

Digitized by Google

Verminderung des Widerstandes bei der zweiten Prüfung, etwa durch Eindringen des Kochsalzes in die Eiweifshäutchen, durch Hinwegdrücken einer Luftblase zwischen Bausch und Eiweifshäutchen (S. oben Bd. I. S. 224), u. d. m.? Dazu kommt, dafs, wie wir erst jetzt zu ermessen im Stande sind, die Art der Prüfung des künstlichen Querschnittes ganz geeignet sein würde, eine fernere Stromentwickelung daran erkennen zu lassen, wenn solche an ihm, nach Art der Entwickelung am natürlichen Querschnitt, überhaupt noch stattzufinden vermöchte. Ohne durch einen sehnigen Ueberzug, gleich dem natürlichen Querschnitt, vor der unmittelbaren Berührung der Zuleitungsflüssigkeiten geschützt zu sein, kommt der künstliche Querschnitt gegen das Eiweifshäutchen zu liegen, dessen Berührung, wie man sich erinnert, wohl im Stande war, den Strom des natürlichen Querschnittes zu entwickeln (S. oben S. 53). Man könnte sagen, dafs der Grad der Entwickelung, auf dem sich der Strom des künstlichen Querschnittes, aus irgend welchen Gründen, alsdann schon befinde, denjenigen übertreffe, den das Hühnereiweifs herbeizuführen vermag (Vergl. oben S. 58). Allein auch wenn man den künstlichen Querschnitt unmittelbar wider den vom Eiweifshäutchen entblöfsten Bausch lehnt, entwickelt sich sein Strom nicht höher; so dafs sich dieser Strom also jedenfalls schon auf einer Stufe der Entwickelung jenseits der durch die Kochsalzlösung hervorgerufenen befunden haben mufs.

Unter diesen Umständen erscheint es unstreitig als das Natürlichste, sich vorzustellen, der Strom des künstlichen Querschnittes bedürfe gar keiner Entwickelung. Nur beirrt durch die Gewohnheit, uns die beiden Arten des Querschnittes überall in vollkommener Uebereinstimmung zu denken, hätten wir oben S. 36, nachdem wir die Entwickelung des Stromes des natürlichen Querschnittes erkannten, uns verleiten lassen zu dem Ausdruck, der Strom des künstlichen Querschnittes finde sich stets bereits ganz oder nahe ganz entwickelt vor. Dies heifse voraussetzen, dafs die Negativität des künstlichen Querschnittes gegen den Längsschnitt einer Entwickelung überhaupt bedürfe, und dafs sie, im unversehrten Muskel, so wenig vorhanden sei, als die des natürlichen Querschnittes vor dem Angriff durch eine ätzende Flüssigkeit. Für diese Voraussetzung aber liege kein wirklicher Grund vor; und wenn nicht das Gegentheil erwiesen werde, so sei aus dem gegenwärtigen Thatbestand vielmehr zu folgern, dafs die Negativität des künstlichen Querschnittes innerhalb des unversehrten Muskels bereits gerade so vorhanden sei, wie wir sie bei der Prüfung auf den Bäuschen vorfinden.

Die Folge wird lehren, dafs diese Vorstellungsweise in der That die richtige ist. Allein um zu dieser Ueberzeugung zu gelangen, sind

Digitized by Google

noch mehrfache Hindernisse aus dem Wege zu räumen. Es ist zuvörderst nicht zu verkennen, dafs eben die vollkommene Uebereinstimmung, die wir zwischen dem Verhalten beider Arten des Querschnittes stets gefunden haben, uns die Verpflichtung auferlegt, zu versuchen, ob sich der hier hervorgetretene Widerspruch nicht noch irgendwie in's Gleiche bringen lasse. Und bei einigem Nachdenken findet man bald einen Weg, auf dem dies dem Anschein nach wohl gelingen könnte.

Es liegt nämlich die Vermuthung nahe, dafs die Negativität des künstlichen Querschnittes zwar im unversehrten Muskel ihrer Entwickelungsstufe nach der des natürlichen Querschnittes wirklich stets genau entspreche. Beim Auflegen auf die Bäusche aber erscheine der Strom deshalb stets bereits so hoch entwickelt, weil durch den blofsen Vorgang der Prüfung oder gar der Herstellung des künstlichen Querschnittes die Bedingungen zur Entwickelung gegeben seien, so dafs der Strom sich im Nu entfalte, so schnell, als wenn der natürliche Querschnitt mit Höllensteinlösung, Essigsäure, Ammoniak oder Kreosot benetzt wird. Diese Vermuthung müssen wir nun vor Allem bestrebt sein, durch passende Versuche, wenn es angeht, zu bestätigen oder zu widerlegen.

(u) Die Prüfung des künstlichen Querschnittes auf seinen Strom trägt nichts Merkliches bei zur Entwickelung desselben.

Was zunächst die Prüfung des künstlichen Querschnittes auf seinen Strom betrifft, so ist Folgendes zu erwägen. Wir haben oben bemerkt, dafs die Bedingungen, unter denen wir diese Prüfung vornehmen, nach den den Erscheinungen am natürlichen Querschnitt entlehnten Begriffen, der Entwickelung durchaus günstige sind. Wir haben daraus, dafs der künstliche Querschnitt dennoch keine Entwickelung erkennen lasse, geschlossen, dafs er keine Fähigkeit dazu besitze. Aber man kann diesen Erfolg noch aus einem anderen, gerade dem entgegengesetzten Gesichtspunkte beurtheilen. Man kann sich nämlich denken, dafs die hohe Stufe der Entwickelung, auf der der Strom des künstlichen Querschnittes angetroffen wird, eben daher rührt, dafs er, ohne durch einen sehnigen Ueberzug geschützt zu sein, unmittelbar mit dem Eiweifshäutchen in Berührung kommt. Hühnereiweifs, wenn es keine Schicht Sehnengewebe erst zu durchdringen braucht, mag ja so schnell und stark entwickeln, wie sonst nur Höllensteinlösung oder Kreosot.

Allein der Versuch erweist sich dieser Annahme nicht günstig. Wäre sie richtig, so müfste sich doch in der Gröfse des ersten Ausschlages, den man vom künstlichen Querschnitt erhält, ein Unterschied erkennen lassen, je nach der entwickelnden Kraft der angewendeten

Digitized by Google

Zuleitungsflüssigkeit, und wenn die Flüssigkeit nur sehr langsam und schwach entwickelte, so müfste sich eine Spur nachträglicher Entwickelung, sei's bei der zweiten, dritten... Prüfung, sei's bei Anwendung einer stärker entwickelnden Zuleitungsflüssigkeit kundgeben.

Nichts von alledem ist der Fall. Der erste Ausschlag ist nicht stärker, wenn man die Bäusche mit doppelten Hülfsbäuschen versieht, von denen die der zweiten Ordnung (Vergl. oben S. 13) mit Salpetersäure oder sonst einer stark entwickelnden, leitenden Flüssigkeit getränkt sind, und auf diese den parelektronomischen Muskel, einen Adductor magnus oder Semimembranosus Cuv., mit natürlichem Längs- und künstlichem Querschnitt ohne Eiweifshäutchen bringt. Der Ausschlag ist, des vermehrten Widerstandes halber, zwar schwächer, wenn man die gewöhnlichen Zuleitungsbäusche, statt mit Eiweifshäutchen, mit einem mehrdoppelten Ueberzuge von Fliefspapier versieht, das mit Froschblut oder destillirtem Wasser, also mit Flüssigkeiten getränkt ist, die vom natürlichen Querschnitt aus beziehlich gar nicht oder nur sehr langsam und schwach entwickeln (Vergl. oben S. 60. 63. 64). Allein man erhält keinen stärkeren Ausschlag, wenn man entweder beim destillirten Wasser die Prüfung nach einiger Zeit wiederholt, oder wenn man den Ueberzug auf Seiten des Querschnittes noch über den auf Seiten des Längsschnittes deckt und den Querschnitt den entsprechenden Bausch unmittelbar berühren läfst, wobei, wie man sieht, der Widerstand des Kreises unverändert bleibt, der Querschnitt aber dem Angriff durch die Kochsalzlösung blosgegeben wird. Bei immer länger fortgesetzter Prüfung nimmt zwar die Wirkung an Stärke zu, augenscheinlich aber nur weil sich dem destillirten Wasser oder dem Blute der Ueberzüge Kochsalzlösung aus den Bäuschen beimischt.

Man kann noch auf eine andere Art untersuchen, ob der Strom des künstlichen Querschnittes, unabhängig von den gewöhnlich zu seiner Prüfung angewendeten Hülfsmitteln, und bereits vor dieser Prüfung, die Entwickelungsstufe besitze, auf der er gefunden zu werden pflegt. Auf diese Art wird man geführt, indem man sucht, auf den künstlichen Querschnitt die vortheilhafte Gestalt der Prüfung zu übertragen, die wir oben S. 51 für den natürlichen Querschnitt entdeckten, und ihr im Verfolg der Untersuchung bereits so viel zu danken hatten. Wir fanden, dafs der Strom des parelektronomischen Gastroknemius sich nicht entwickele, wenn er, statt vom Längs- und Querschnitt unmittelbar, von den sehnigen Enden abgeleitet werde; und nun erst konnten wir in aller Sicherheit den Einflufs ermitteln, den gewisse Umstände auf die Entwickelung äufsern, ohne Gefahr zu laufen, durch die Prüfung selber den Stand der Entwickelung zu verändern.

Digitized by Google

Um dasselbe am künstlichen Querschnitt zu erreichen, genügt es, den parelektronomischen Muskel mit zwei nicht symmetrischen Punkten des natürlichen Längsschnittes aufzulegen. Da man es alsdann mit den schwachen Strömen des Längsschnittes zu thun hat, so wendet man mit Vortheil den Multiplicator für den Nervenstrom an (S. oben Abth. I. S. 495).

Man erhält stets bereits einen Ausschlag von $70-90°$ in der Richtung von dem dem elektromotorisch mittleren Querschnitte näheren Punkte des Längsschnittes zu dem dem künstlichen Querschnitte näheren Punkte durch den Multiplicatordraht. Also ohne dafs der Querschnitt mit einer entwickelnden Flüssigkeit in Berührung gekommen wäre, findet man ihn doch nie unwirksam gegen den Längsschnitt, geschweige positiv. Es handelt sich aber darum, auszumachen, ob sich seine Negativität gleich der des natürlichen Querschnittes im parelektronomischen Zustande noch durch Anätzen steigern lasse.

Die Prüfung darf nicht etwa so vorgenommen werden, dafs man den Muskel von den Bäuschen entfernt, um seinen künstlichen Querschnitt mit irgend einer entwickelnden Flüssigkeit in Berührung zu bringen. Denn man würde auf keine Weise sicher sein, dafs man ihm, beim Wiederauflegen auf die Bäusche, die genau gleiche Lage ertheilt habe. Es mufs vielmehr, während der Muskel unverrückt aufliegt und die Nadel in beständiger Ablenkung hält, die entwickelnde Flüssigkeit auf den Querschnitt gebracht, und ihre Wirkung aus der dann entstehenden Nadelbewegung erschlossen werden. Wie man leicht erkennt, ist dies dasselbe Verfahren, dessen wir uns oben S. 55 bedient haben, um zu ermitteln, ob eine Flüssigkeit entwickelnd wirke oder nicht. Hier bedienen wir uns umgekehrt einer Flüssigkeit von bekanntem Entwickelungsvermögen, um zu erfahren, ob der künstliche Querschnitt entwickelungsfähig sei oder nicht.

Damit die entwickelnde Flüssigkeit nicht dem Muskel entlang fliefse und die Eiweifshäutchen verunreinige, mufs der damit zu benetzende Querschnitt von dem entsprechenden Bausch abgehoben und das Ende des Muskels mit Hülfe eines Stückchens Thermometerrohrs (S. oben Bd. I. S. 500) oder gefirnifsten Korkes so gestützt werden, dafs der Querschnitt in wagerechter Stellung frei nach oben sieht. Die entwickelnde Flüssigkeit mufs begreiflich möglichst wirksam sein. Es ist ferner zweckmäfsig, wenn sie nicht mit zu grofser Kraft sich am Muskel auszubreiten strebt, und wenn sie überdiefs ihren Verbreitungsbezirk durch irgend eine recht augenfällige Veränderung der Muskelsubstanz kenntlich macht. Ich wählte zuerst die gesättigte salpetersaure Silberlösung; sie entspricht dem Zweck sehr gut, insofern sie insbe-

Digitized by Google

sondere jeden Punkt des Muskels, den sie berührt hat, mit einem weifsen Brandschorf bedeckt zurückläfst.

Benetzt man den künstlichen Querschnitt eines mit verschiedenen Punkten des Längsschnittes aufliegenden Semimembranosus oder Adductor magnus Cuv. mit der gesättigten Höllensteinlösung, indem man sich hütet, dabei nicht die Gränze von Längs- und Querschnitt zu überschreiten, so sieht man allerdings häufig einen positiven Ausschlag erfolgen. Allein er beläuft sich stets nur auf wenige Grade, während der erste Ausschlag beim Auflegen des Muskels die Nadel des Multiplicators für den Nervenstrom, wie gesagt, nicht selten bis an die Hemmung führt.

Ueberschreitet man, beim Benetzen des künstlichen Längsschnittes, ungehöriger Weise die Grenze zwischen Längs- und Querschnitt, so bleibt manchmal die Nadel in Ruhe, oft sieht man sie, statt im positiven Sinne, im negativen Sinn ausschlagen. Diese negative Wirkung, die also die positive bald aufwiegt, bald sogar überwiegt, beruht zweifellos darauf, dafs alsdann die Höllensteinlösung eine Nebenschliefsung für den Strom in Bezug auf den Multiplicatorkreis abgiebt.

Benetzt man den künstlichen Querschnitt allein zu wiederholten Malen mit der Lösung, so erfolgt gleichwohl kein negativer Ausschlag. Am Gastroknemius war, wie man sich erinnert, das Verhalten ein anderes. Hier brachte das Benetzen allein des natürlichen Querschnittes bei bereits entwickeltem Strome einen negativen Ausschlag zuwege (S. oben S. 57. 58). Wir haben dies zu erklären versucht durch die schräge Lage des natürlichen Querschnittes in Bezug auf die Faserrichtung. Wir dachten uns, dafs demgemäfs eine den Querschnitt überziehende gute Leitung sich gleichsam angelegt finde an Längs- und Querschnitt der Längsreihen der elektromotorischen Molekeln, die in dem schrägen Querschnitt der einzelnen Bündel einander stufenförmig überragen. Ich versuchte daher, ob sich von schräg angelegten künstlichen Querschnitten aus, beim wiederholten Benetzen ihrer allein mit Höllensteinlösung, würde ein negativer Ausschlag erzielen lassen; und wirklich traf dies in einigen Fällen zu.

Ueber die Deutung dieser negativen Ausschläge kann also nicht wohl ein Zweifel sein. Was den positiven Ausschlag betrifft, den man beim Benetzen des Querschnittes allein erhält, so könnte man ebenso meinen, dieser Ausschlag sei unfehlbar zu betrachten als ein Anzeichen einer freilich in äufserst engen Grenzen vor sich gehenden Stromentwickelung, welche, bei der gewöhnlichen Art der Prüfung, der Beobachtung entzogen bleibe. Es wäre auf diese Art also erwiesen, dafs wirklich der künstliche Querschnitt stets noch einigermafsen entwicke-

Digitized by Google

lungsfähig auf die Bäusche gelange, und dafs folglich seine Negativität im unversehrten Muskel der Zurichtung nicht vollständig vorbestehe, sondern gleich der des natürlichen Querschnittes allerdings auch einer Entwickelung bedürfe. Bei näherer Betrachtung findet sich indefs, dafs sich für jene positive Wirkung bei ihrer ausnehmenden Kleinheit noch zwei andere Deutungen angeben lassen, von denen die eine zwar leicht beseitigt werden kann, die andere aber nicht aus dem Wege zu räumen ist, so dafs der Beweis für den auch nur theilweisen Ursprung der positiven Wirkung aus einer Stromentwickelung in Wahrheit weder geführt ist, noch überhaupt geführt werden kann.

Zuerst nämlich kann man Folgendes sagen. Oben Abth. I. S. 525 ist gezeigt worden, dafs, wenn ein peripolarer Erreger mit symmetrischen Punkten des Längsschnittes aufliegt, und man fügt ihm an dem einen Querschnitt eine unwirksam leitende Verlängerung hinzu, eine Wirkung im Kreise sich kundgiebt im Sinne des Querschnittes, an dem das Hinzufügen geschah (Vergl. Taf. IV. Fig. 134). Es ist klar, dafs dieselbe Wirkung nicht ausbleiben würde, wenn der Erreger, statt mit symmetrischen, mit asymmetrischen Punkten des Längsschnittes aufläge. Es ist ferner klar, dafs an Stelle des mit Eiweifs getränkten Fadens in Fig. 134 auch nur ein Tröpfchen einer gutleitenden Flüssigkeit hätte an dem Querschnitt angebracht werden können, indem die gute Leitungsfähigkeit der Flüssigkeit die gröfsere Ausdehnung des Eiweifsfadens ersetzte. Alsdann aber, sieht man, fallen die Bedingungen des Versuches mit denjenigen des uns jetzt vorliegenden merklich zusammen. Die positive Wirkung, die wir in diesem beobachtet haben, rührt somit möglicherweise von nichts her, als davon, dafs wir, in dem Tropfen Höllensteinlösung, an dem Querschnitt des Muskels eine Endableitung angebracht haben, entsprechend der Endlücke in den oben Bd. I. S. 649 ff. beschriebenen Versuchen an schematischen Kupferzinkvorrichtungen (Vergl. Fig. 67. Taf. VI. ebendas.).

Diese Vermuthung ist leicht durch den Versuch zu prüfen. Ist sie richtig, so mufs nämlich die positive Wirkung ausbleiben, wenn wir die Höllensteinlösung durch eine nichtleitende entwickelnde Flüssigkeit, das Kreosot, ersetzen. Ist hingegen die positive Wirkung von der angegebenen Ursache ganz oder zum Theil unabhängig, so darf sie, auch mit dem Kreosot statt der Höllensteinlösung, zu erscheinen fortfahren.

Der Erfolg lehrt aber, dafs auch das Kreosot noch eine deutliche positive Wirkung giebt, wenn auch nicht so stark, als die Höllensteinlösung. Von der negativen Wirkung beim Ueberschreiten der Grenze zwischen Längs- und Querschnitt ist beim Kreosot nichts mehr zu

Digitized by Google

spüren, wodurch also unsere Deutung dieser Erscheinung sich von Neuem bestätigt findet.

Benetzt man den natürlichen Querschnitt parelektronomischer Gastroknemien, die mit sehnigen Enden aufliegen, in der oben S. 55 angegebenen Art das eine Mal mit Höllensteinlösung, das andere Mal mit Kreosot, so erhält man im ersteren Falle meist einen stärkeren Ausschlag als im letzteren. Es könnte somit den Anschein haben, als sei die vergleichweise Stärke der positiven Wirkungen, die beide Flüssigkeiten in unserem jetzigen Versuche vom künstlichen Querschnitt aus hervorbringen, ein Beweis dafür, dafs diese Wirkungen auf Stromentwickelung beruhen.

Allein es ist nun zweitens Folgendes zu bedenken. Indem wir den künstlichen Querschnitt einem heftigen chemischen Angriff preisgeben, vernichten wir offenbar die elektromotorische Kraft einer mehr oder weniger mächtigen Schicht von Muskelsubstanz, welche diesen Querschnitt ausmacht. Wir verkürzen also gewissermafsen, durch Anätzen des Querschnittes, die Entfernung zwischen dem Querschnitt und dem zunächst gelegenen Ableitungspunkte am Längsschnitt. Die Folge davon mufs abermals eine positive Wirkung sein, um so stärker, je rascher die Zerstörung der Grenzschicht vor sich ging, und je tiefer die ätzende Flüssigkeit eindrang, d. h. je mächtiger die aufser Wirksamkeit gesetzte Schicht in derselben Zeit ausfällt; und um so stärker ferner, je besser die ätzende Flüssigkeit leitete, insofern durch ihren Widerstand auch der Widerstand der unwirksam zurückbleibenden Schicht bestimmt wird, welche nunmehr, in Bezug auf den wirksam zurückbleibenden Theil des Muskels, eine nach Mafsgabe ihrer Leitungsfähigkeit stromverstärkende Endableitung in der eben erinnerten Art vorstellt.

Man sieht daher, dafs man auch auf diese Weise, ohne zu einer hier vor sich gehenden Stromentwickelung seine Zuflucht zu nehmen, die positive Wirkung beim Benetzen des künstlichen Querschnittes mit Kreosot und ihre geringere Stärke im Vergleich zu der durch die Höllensteinlösung wenigstens ungezwungen erklären kann. Man möchte nun vielleicht glauben, es lasse sich zwischen dieser Deutung der positiven Wirkung und derjenigen durch eine Stromentwickelung dadurch entscheiden, dafs man den Versuch an einem nicht erkälteten Muskel anstellte, indem nach unseren bisherigen Vorstellungen am nicht erkälteten Muskel ja überhaupt keine Stromentwickelung stattfindet. Wenn also die positive Wirkung sich dennoch daran kundgebe, so könne diese Wirkung in der That nichts mit der Entwickelung zu schaffen haben. Dieser Versuchsplan beruht jedoch auf einer falschen Voraussetzung. Die

Digitized by Google

Folge wird nämlich lehren, dafs bei den verfeinerten Hülfsmitteln zur Erkennung des parelektronomischen Zustandes, über die wir jetzt gebieten, alle Muskeln zu jeder Zeit, auch wenn sie keiner Temperaturerniedrigung ausgesetzt waren, einen gewissen Grad des parelektronomischen Zustandes erkennen lassen.[1] Unter diesen Umständen hat es nichts zu bedeuten, dafs, wie es sich im Versuche zeigt, die positive Wirkung sich an nicht erkälteten Muskeln wirklich gerade so gut wahrnehmen läfst als an erkälteten. Man könnte aber nun vielleicht noch hoffen, durch die verschiedene Gröfse der positiven Wirkung, entsprechend den verschiedenen Stufen des parelektronomischen Zustandes, auf denen sich erkältete und nicht erkältete Muskeln befinden, die Natur jener Wirkung, als von der Stromentwickelung herrührend, festzustellen. Allein an eine Vergleichung der Art ist in der That gar nicht zu denken, da die Gröfse der positiven Wirkung von einer Menge anderer Umstände in nicht zu beherrschender Weise bestimmt wird.

Ich bevorworte übrigens, dafs sich uns in der Folge[2] für die hier in Rede stehende positive Wirkung noch eine andere Deutung darbieten wird, welche abermals die Vorstellung ausschliefst, als sei diese positive Wirkung das Anzeichen einer Entwickelungsfähigkeit, die der künstliche Querschnitt aus dem Inneren des Muskels mit zur Prüfung bringt.

Aus alle dem ergiebt sich, dafs sich eine Entwickelungsfähigkeit des künstlichen Querschnittes nicht mit Bestimmtheit nachweisen läfst; dafs aber, selbst wenn jene positive Wirkung erwiesenermafsen auf nichts beruhte als auf Stromentwickelung, was nicht der Fall ist, die Entwickelungsfähigkeit, die der künstliche Querschnitt zur Prüfung mitbringt, nur eine äufserst geringe sein würde; dafs folglich die hohe Stufe der Entwickelung, auf der wir den Strom des künstlichen Querschnittes stets schon fanden, wenigstens nicht von der Art und Weise herrührte, wie wir die Prüfung dieses Stromes vornahmen.

Legt man einen Nerven, gleich den Muskeln in den vorigen Versuchen, mit asymmetrischen Punkten des natürlichen Längsschnittes auf (20—30° Ausschlag am Multiplicator für den Nervenstrom) und betupft man den künstlichen Querschnitt, der auf einem Glimmerblättchen in gewohnter Weise ruht, mit Kreosot, so erfolgt ein positiver Ausschlag von etwa 2°. Ersetzt man das Kreosot durch Höllensteinlösung, so ist der Ausschlag negativ wegen Nebenschliefsung, da es begreiflich nicht gelingt, den Querschnitt allein zu benetzen, und nicht die Grenze zwischen Längs- und Querschnitt mehr oder weniger zu überschreiten

[1] S. unten, No. 11.

[2] S. unten, No. 10 (IV).

Digitized by Google

(S. oben S. 78). Schwerlich spielt dabei die negative Schwankung wegen der chemischen Erregung des Nerven eine irgend in Betracht kommende Rolle (Vergl. oben Abth. I. S. 520).

Wenn wir mit Sicherheit wüfsten, dafs die positive Wirkung in diesen Versuchen auf Entwickelung zu deuten sei, so würde ihr Erfolg sehr wichtig sein, da er die Beantwortung der Frage enthalten würde, die oben S. 38 aus Mangel eines natürlichen Querschnittes an den Nerven unerledigt blieb, ob nämlich die Nerven den parelektronomischen Zustand mit den Muskeln theilen. Wie die Sachen stehen, ist jedoch der in Rede stehende Erfolg an den Nerven eben so bedeutungslos, weil eben so vieldeutig, als der entsprechende Erfolg an den Muskeln, und jene Frage somit bis auf weiteres noch als unerledigt zu betrachten.

(iii) Die Herstellung des künstlichen Querschnittes trägt nichts bei zur Entwickelung seiner Negativität.

Der erste Theil der Vermuthung, durch die wir versuchten, den Widerspruch zwischen dem Verhalten beider Arten des Querschnittes im parelektronomischen Zustande zu erklären, ist nunmehr als gefallen zu betrachten. Der künstliche Querschnitt kommt zur Prüfung auf die Bäusche zweifellos bereits nahe, wenn nicht völlig, so negativ, als er sich bei der Prüfung selber erweist. Die Bedingungen, unter denen wir die Prüfung des Stromes vornehmen, tragen nichts bei zur Entwickelung seines Stromes. Soll also die Negativität des künstlichen Querschnittes überhaupt einer Entwickelung bedürftig sein; soll sie, statt bereits im unversehrten Muskel stets vorhanden zu sein, vielmehr unter allen Umständen gleichen Schritt halten mit der des natürlichen Querschnittes: so bleibt nichts anderes übrig als es mufs die Entwickelung des Stromes des künstlichen Querschnittes in dem kurzen Zeitraume von seiner Herstellung bis zu seiner Prüfung vor sich gehen, und es mufs in der Herstellung selber des künstlichen Querschnittes die Ursache dieser reifsend schnellen Entwickelung zu finden sein.

Die einzige Art der Entwickelung, die wir bisher mit Sicherheit kennen gelernt haben, besteht in dem Anätzen des Querschnittes durch irgend welche chemisch wirksame Flüssigkeit, gleichviel ob leitender oder nicht leitender Art. Wir wissen ferner, dafs die fortgesetzte Berührung positiver Metalle den Strom zu entwickeln vermag, sei's durch Elektrolyse des Querschnittes unmittelbar, sei's durch den Angriff seitens der Zersetzungsstoffe, die das Erzeugnifs derselben Elektrolyse sind. Etwas diesen Bedingungen Aehnliches müssen wir also jetzt suchen in der Herstellung des künstlichen Querschnittes zu finden, wenn wir uns nicht in völlig grundlose Muthmafsungen hinausbegeben wollen.

Digitized by Google

Man könnte nun zuerst meinen, möglicherweise liege in der Herstellung des künstlichen Querschnittes mittelst eines stählernen Schneidewerkzeuges der Grund der raschen Stromentwickelung. Zwar hätten wir, beim natürlichen Querschnitt, auch die positivsten der gebräuchlichen Metalle viel langsamer wirkend gefunden, so dafs es mehrerer Stunden bedurfte zu einer Entwickelung, wie sie hier in dem Bruchtheil einer Secunde stattfinden müfste, während dessen die Klinge den Querschnitt berührt. Aber man könne ja nicht wissen, wie hoch der verzögernde Einfluſs des sehnigen Ueberzuges über den natürlichen Querschnitt anzuschlagen sei.

Es ist leicht, diese Vermuthung dadurch zu widerlegen, dafs man den künstlichen Querschnitt, statt mit einer stählernen Klinge, mittelst eines nicht metallischen Schneidewerkzeuges herstellt. Zuerst zerbifs ich einfach den Muskel; dabei wurde er aber zu sehr gequetscht. Dann verfertigten mir die Herren Böttcher und Halske ein Messer aus Obsidian, diesem alterthümlichen Ersatzmittel des Eisens.[1] Endlich fielen mir Messer aus Büffelhorn in die Hände, die zum Schälen der Früchte, zum Vorlegen der Butter und als Papiermesser dienen und dem Zweck vortrefflich entsprechen. Es gab sich aber kein merklicher Unterschied kund zwischen dem elektromotorischen Verhalten der mit solchen nicht metallischen Schneidewerkzeugen dargestellten Querschnitte und derjenigen, die wie gewöhnlich mit stählernen Klingen zugerichtet sind.

Gewifs trug schon die eben widerlegte Vermuthung das Gepräge der Unwahrscheinlichkeit in hohem Grade an sich, und eine Hypothese, die, um ihr Dasein zu fristen, zu solchen Vermuthungen ihre Zuflucht nehmen mufs, ist wohl schon als abgethan zu betrachten. Aber gehen wir weiter. Lassen wir uns nicht verdrieſsen, auch noch der Frage zuvorzukommen, die jetzt hier allein übrig bleibt, ob vielleicht der künstliche Querschnitt eine Flüssigkeit von sich gebe, welche, gleich den von uns auf den natürlichen Querschnitt aufgetragenen Flüssigkeiten, den Strom zu entwickeln vermöge.

Die Frage erscheint von vorn herein sinnlos. Denn wenn der künstliche Querschnitt eine solche Flüssigkeit von sich gäbe, müfste diese Flüssigkeit doch im Inneren des Muskels enthalten sein. Alsdann ist aber nicht einzusehen, weshalb sie nicht im unversehrten Muskel bereits ihre entwickelnde Wirkung äufsern sollte, so dafs es weder der Herstellung des künstlichen Querschnittes bedürfte, um ihn negativ zu machen, noch

[1] Vergl. v. Humboldt, Voyage aux Régions équinoxiales du nouveau Continent etc. t. I. Paris 1816. p. 348.* — Silliman, The American Journal of Science and Arts. vol. XVI. July 1829. p. 161;* — Froriep's Notizen u. s. w. No. 554. (Bd. XXVI. No. 4.) November 1829. S. 52.*

Digitized by Google

auch der natürliche Querschnitt je positiv oder unwirksam erscheinen könnte. Indessen (vielleicht durch die Art der Polemik, die bisher nicht selten gegen meine Ergebnisse geführt worden ist) längst gewohnt, auch scheinbar sinnlose Meinungen thatsächlich zu widerlegen, um die mir als richtig vorschwebende um so sicherer zu begründen, unterliefs ich nicht, auch hier noch das Aeufserste zu versuchen.

Ich ging dabei von folgender Voraussetzung aus. Wenn die vollständige Entwickelung des Stromes des künstlichen Querschnittes noch vor seiner Prüfung und sofort nach seiner Herstellung wirklich herrührt von einer ätzenden Flüssigkeit, die der künstliche Querschnitt von sich giebt, so mufs diese Flüssigkeit auch im Stande sein, den Strom des natürlichen Querschnittes zu entwickeln. Ich lehnte also einen parelektronomischen Gastroknemius mit seinem natürlichen Querschnitt wider den Querschnitt eines frischen Oberschenkelstumpfes. Ich erwartete nicht anders, als dafs ich ihn nach mehreren Stunden auf derselben Stufe der Entwickelung, also, wegen des unausbleiblichen Sinkens der Kräfte nach dem Tode, mit etwas geringerer Kraft wirksam finden würde; wie dies der Fall ist, wenn man den natürlichen Querschnitt des parelektronomischen Muskels auf den natürlichen Oberflächen anderer Muskeln ruhen läfst (S. oben S. 69).

Wie grofs war meine Ueberraschung, als ich, statt dessen, den Strom des parelektronomischen Gastroknemius in zahlreichen Versuchen stets hoch entwickelt antraf. Nach einer halben Stunde gab ein Muskel, der ursprünglich etwa + 10° zeigte, + 70° Ausschlag. Beim Anlegen des natürlichen Querschnittes an den künstlichen Längsschnitt findet keine Entwickelung statt, die mit der vorigen irgend in Vergleich zu bringen wäre.

Unmöglich konnte, nach den Erfahrungen der vorhergehenden Nummer, die Entwickelung durch Anlegen des natürlichen Querschnittes an den künstlichen daher rühren, dafs sich, wie es wohl in allen Versuchen der Fall war, der natürliche Querschnitt von dem Strome des querdurchschnittenen Muskels mehr oder weniger stark durchkreist fand. Es schien also in der That jetzt nichts anderes mehr übrig als anzunehmen, dafs der künstliche Querschnitt eine entwickelnde Flüssigkeit von sich gebe. Der Vorstellung, als bedürfe der künstliche Querschnitt einer Entwickelung seiner Negativität, als hielte diese im parelektronomischen Zustande gleichen Schritt mit der des natürlichen Querschnittes, dieser Vorstellung wäre nun also wirklich einmal freies Spiel gegeben, insofern in jener Flüssigkeit nunmehr eine Ursache vorläge, weshalb der künstliche Querschnitt sogleich nach der Herstellung negativ erscheint.

Digitized by Google

Allein jetzt treten die Bedenken in Kraft, die für diesen Fall bereits vorhin angedeutet wurden. Wenn der Muskel eine Flüssigkeit enthielte, die, am künstlichen Querschnitt ergossen, durch den sehnigen Ueberzug des natürlichen Querschnittes eines zweiten Muskels hindurch den Strom dieses Muskels zu entwickeln vermöchte, wie in aller Welt, ich wiederhole es, soll man es begreifen, dafs diese Flüssigkeit nicht bereits entwickelnd auftritt in dem damit getränkten Muskel selber, wo sie, um auf den natürlichen Querschnitt zu wirken, nicht einmal erst durch den sehnigen Ueberzug zu dringen braucht? Dazu kommt noch, dafs alle Flüssigkeiten, die wir bisher als entwickelnd kennen gelernt haben, die Muskelsubstanz angreifen, und zwar um so stärker, je stärker sie entwickeln. Wir sind also umgekehrt zu dem Schlufs berechtigt, dafs eine stark entwickelnde Flüssigkeit von sonst unbekannter Natur gleichfalls stark ätzender Beschaffenheit sein werde. Also wir sollen uns den Muskel ohne Schaden, vielmehr von Natur, getränkt vorstellen mit einer Flüssigkeit, welche die Muskelsubstanz lebhaft angreift!

Es entstand daher die Frage, ob sich die Gegenwart einer entwickelnden Flüssigkeit am künstlichen Querschnitt nicht noch anders auffassen lasse, als in der angegebenen Art, die auf solche Abwege führt. Und dazu bietet sich ein leichtes Mittel dar, nämlich anzunehmen, dafs jene Flüssigkeit nicht im Inneren des Muskels vorbestehe, sondern sich erst am künstlichen Querschnitt in Folge seiner Herstellung und im Lauf der Zeit bilde. Nichts war leichter, als durch den Versuch hierüber in's Klare zu kommen.

Von zwei parelektronomischen Gastroknemien lehnte ich den minder parelektronomischen *A*, der also ursprünglich den gröfseren positiven Ausschlag gab, mit seinem natürlichen Querschnitt gegen einen ganz frischen künstlichen Querschnitt, den anderen *B* gegen einen solchen, der schon seit längerer Zeit hergestellt war. Als ich nach etwa einer Viertelstunde beide Muskeln abermals prüfte, fand ich den Strom von *A* nur wenig in der Entwickelung vorgeschritten. Hingegen der von *B* war nach dieser kurzen Zeit bereits so hoch entwickelt, wie nur sonst nach längster Frist der Strom eines Muskels, dessen natürlicher Querschnitt einem frischen künstlichen angelegt ist. Es hatte demnach selbstredend der ursprünglich schwächere Strom von *B* den von *A* weit hinter sich gelassen in der Entwickelung.

Ein alter künstlicher Querschnitt entwickelt also sehr viel stärker als ein frischer, und es kann somit kein Zweifel sein, dafs die entwickelnde Flüssigkeit am künstlichen Querschnitt sich erst im Lauf der Zeit bilde. Die Ermittelung, was dies für eine Flüssigkeit sei, würde uns zu weit vom Ziel unserer jetzigen Untersuchung ablenken.

Digitized by Google

Diese Untersuchung wird an einer späteren Stelle ihren Platz finden.[1] Hier genüge die Bemerkung, dafs die allmälige Bildung einer Flüssigkeit von ätzender, mithin entwickelnder Beschaffenheit am künstlichen Querschnitt der Muskeln sich in der That mit Leichtigkeit noch auf einem anderen Wege ergiebt als dem, welcher uns jetzt dazu geführt hat, eine solche Bildung anzunehmen. Die allmälige Bildung der ätzenden Flüssigkeit ist aber der Punkt, auf den es uns hier zunächst allein ankommt. Sobald sie feststeht, kann die Flüssigkeit, welche sie auch sei, unmöglich etwas zu schaffen haben mit der augenblicklich nach der Herstellung des künstlichen Querschnittes nachweisbaren Negativität desselben, und somit ist auch die letzte Zuflucht vereitelt für die Annahme, dafs diese Negativität im Inneren des parelektronomischen Muskels nicht stets in gleicher Weise vorbestehe, dafs sie vielmehr unter allen Umständen gleichen Schritt halte mit der Negativität des natürlichen Querschnittes. Es sei denn, dafs man sich schlechthin denken wolle, dafs der mechanische Eingriff, der mit der Herstellung des Muskels verbunden ist, in derselben Weise den räthselhaften Entwickelungsvorgang mit sich führt, wie der chemische Angriff des natürlichen Querschnittes dies vermag.

Wir geben es unter diesen Umständen lieber auf, das gleiche Benehmen beider Arten des Querschnittes auch im parelektronomischen Zustande aufrecht erhalten zu sehen. Ein weiterer Grund dafür wird sich, wenn es nöthig sein sollte, noch im Verfolg unserer Untersuchung ergeben. Es wird sich nämlich zeigen, wie bei der Annahme, von der wir nun ausgehen, dafs die Negativität des künstlichen Querschnittes im unversehrten Muskel vorbestehe und sein Strom keiner Entwickelung bedürfe, nicht nur fast alle bisher beobachteten Erscheinungen des parelektronomischen Zustandes sich mit der gröfsten Einfachheit und Leichtigkeit erklären lassen, sondern sogar die Möglichkeit gegeben ist, noch andere Erscheinungen desselben Zustandes mit Sicherheit im Voraus zu verkündigen. Bei der anderen Annahme dagegen ist eine jede Erklärung der Erscheinungen, wie man sehen wird, nicht nur vor der Hand unmöglich, sondern die zu erklärenden angeblichen Vorgänge fallen auch gänzlich aufserhalb des Gebietes aller Analogie. Freilich müfsten wir uns in diesen Uebelstand unbedenklich ergeben, wenn die Ansicht, als deren Folge er erscheint, sonst irgendwie zu beweisen wäre. Dies ist jedoch, wie sich jetzt gezeigt hat, so wenig der Fall, dafs vielmehr die Möglichkeit dieser Ansicht nicht einmal dargethan ist. Unter diesen Umständen darf es allerdings als ein Grund mehr wider die in Rede

[1] S. unten, §. v.

Digitized by Google

stehende Ansicht und für die entgegengesetzte angesehen werden, welche das Vorbestehen der Negativität des künstlichen Querschnittes im unversehrten Muskel annimmt, wenn letztere, weit entfernt Schwierigkeiten zu bereiten, den Weg zur Lösung der vorliegenden Probleme vielmehr ganz von selbst führt. Diesen Weg wollen wir jetzt zu betreten versuchen.

10. Physikalische Theorie des parelektronomischen Zustandes der Muskeln und der Stromentwickelung in demselben.

(1) Theorie der Stromesumkehr der aus peripolaren Gruppen dipolar elektromotorischer Molekeln zusammengesetzten Erreger.

Es ist zunächst unbedenklich klar, und wir haben dies schon im Vorigen häufig stillschweigend vorausgesetzt, dafs das Wesen des parelektronomischen Zustandes der Muskeln nicht zu suchen ist in der Schwächung oder dem gänzlichen Unterdrücktsein der elektromotorischen Kräfte der Muskelmolekeln, wie es beim ersten Anblick den Anschein haben konnte. Der künstliche Querschnitt hat seine Wirksamkeit nicht eingebüfst; der natürliche zeigt sich gleichfalls, nur im umgekehrten Sinne, wirksam, wenn die Erkältung hinreichend tief und lang war; endlich von dem einzigen Mittel, welches wir bisher als stromentwickelnd kennen gelernt haben, dem Anätzen des natürlichen Querschnittes durch beliebige, sogar nichtleitende Flüssigkeiten, ist in keiner Art abzusehen, wie dadurch elektromotorische Kräfte, welche früher fehlten, rege gemacht werden sollten.

Dies kann der gesuchte Schlüssel nicht sein. Es liegt vielmehr auf der Hand, die Kräfte, welche bei der Stromentwickelung zu entstehen scheinen, werden in der That nur frei: sie waren bereits im Muskel vorhanden, nur durch andere, entgegengesetzt gerichtete Kräfte ganz oder zum Theil aufgewogen, ja unter Umständen, auf den höheren Stufen des parelektronomischen Zustandes, sogar überwogen.

Zustände der Nerven und Muskeln, in denen sie unwirksam oder im umgekehrten Sinne von dem gewöhnlichen thätig waren, haben wir schon früher kennen gelernt. Die zarteren unter den thierischen Erregern verfielen von selber in diese Zustände, in Folge der Bedingungen des Versuches; aber selbst die rüstigsten gelang es uns, mit Hülfe gewisser Mifshandlungen, darin zu versetzen. Vergl. oben Abth. I. S. 550 ff. Hier haben wir bereits versucht, den Mechanismus des Ueberganges der Muskeln und Nerven aus ihrem gewöhnlichen Zustande durch einen Punkt der Unwirksamkeit hindurch in den Zustand zu erläutern, wo sie, nach demselben Gesetze zwar, aber in entgegengesetztem Sinne wirksam sind.

Digitized by Google

Zu diesem Behufe forderten wir zunächst die Zusammensetzung der peripolar elektromotorischen Molekeln aus dipolaren Elementen. Für die Nerven war uns diese Vorstellungsweise bereits eine geläufige, da wir, mit ihrer Hülfe, uns im Stande gesehen hatten, von den Erscheinungen des elektrotonischen Zustandes so befriedigende Rechenschaft abzulegen (S. oben Abth. I. S. 320 ff.). Was die Muskeln betrifft, so schien einestheils die Uebertragung der nämlichen Vorstellungsweise auch auf sie schon durch die Analogie gerechtfertigt. Anderentheils lag eine vorläufige Bestätigung dieser Ansicht in dem Umstande, dafs dann auch die Erscheinungen der Stromesumkehr bei den Muskeln sich ebenso leicht erklären liefsen als bei den Nerven. Endlich aber wurde auch noch darauf hingewiesen, dafs spätere Thatsachen sich mit Bestimmtheit in diesem Sinne aussprechen würden (Vergl. oben Bd. I. S. 683. Bd. II. Abth. I. S. 156. 331. 557).

Ist einmal die Natur der peripolaren Molekeln, als zusammengesetzt aus dipolaren Elementen zugegeben, so braucht man, zeigten wir sodann, um die Stromesumkehr zu erklären, nur anzunehmen, entweder dafs alle dipolare Molekeln mit ihren Axen einen Winkel von 180° beschreiben, oder dafs die beiden dipolaren Molekeln, die eine peripolare Gruppe bilden, sich ohne Winkelbewegung ihrer Axen auseinander begeben, und mit den Nachbarmolekeln sich zu einer neuen peripolaren Gruppe von entgegengesetztem Vorzeichen zusammenfügen. Bei dieser zweiten Art der Stromesumkehr wird an beiden Querschnitten eine einfache Schicht dipolarer Molekeln frei, von der man sich noch zu denken hat, dafs sie auf irgend eine Weise aufser Wirksamkeit tritt.

Noch eine dritte Hypothese bot sich uns dar zur Erklärung der Stromesumkehr der thierischen Erreger. Sie bestand in der Annahme, dafs der ganze Vorgang beruhe auf dem Unwirksamwerden der den Querschnitt begrenzenden äufsersten Schicht dipolarer Molekeln. Alsdann fände sich der Muskel am Querschnitt begrenzt von einer Schicht dipolarer Molekeln, welche positive Pole nach Aufsen kehrten, während er im Uebrigen noch die positiv peripolare Anordnung besitzen würde. Die Folge müfste sein, dafs der Muskel negativ wirkte.

Diese Hypothese wird jetzt hier für uns von grofser Wichtigkeit und es ist daher angemessen, sie etwas näher zu zergliedern.

Zu diesem Zweck ist zuerst zu erwägen, dafs es für die elektromotorische Wirkung des Muskels bei regelmäfsiger positiv peripolarer Anordnung seiner dipolaren Molekeln ganz gleichgültig ist, ob man sich in seinem Inneren die positiven Pole der dipolaren Molekeln, die zu zweien eine positiv peripolare Gruppe zusammensetzen, aneinanderstofsend denkt, oder sie sich durch unwirksamen Leiter getrennt vorstellt. In

Digitized by Google

Fig. 107. A. Taf. III. Bd. II. sind die dipolaren Molekeln jeder Gruppe nur deshalb mit ihren positiven Polen aneinanderstofsend gezeichnet, damit man sich erinnere, dafs in Wirklichkeit allerdings eine engere Beziehung zwischen ihnen stattfindet, als zwischen den einander negative Pole zukehrenden Molekeln je zweier benachbarter Gruppen. Diese engere Beziehung spricht sich darin aus, dafs ein mechanisches Trennungsmittel stets nur zwischen zwei Gruppen, nicht zwischen die beiden Molekeln einer Gruppe trifft, daher der künstliche Querschnitt stets negativ erscheint (Vergl. oben Abth. I. S. 324). Hat man aber nur die elektrische Wirkung des als untrennbares Ganze aufgefafsten Systemes im Auge, so ist es, wie gesagt, gleichgültig, ob man sich die Molekeln paarweise zu Gruppen vereint, oder sämmtlich von einander durch gleiche Zwischenräume getrennt vorstelle.

Im letzten Falle nun sieht man, kann man sich die Anordnung der Molekeln im positiv peripolaren Muskel auf zweierlei Art vergegenwärtigen. Man kann entweder sagen, der Muskel besteht aus lauter positiv peripolaren Gruppen, indem man vom einen Ende zum anderen fortschreitend, je zwei Molekeln, die einander positive Pole zuwenden, als positiv peripolare Gruppen auffafst. Dies ist die natürlichere Betrachtungsweise, der wir uns bisher stets bedient haben, weil die besondere Beziehung der Molekeln zu einander, die dabei vorausgesetzt wird, in Wirklichkeit stattzufinden scheint. Man kann aber, elektrisch gesprochen, mit ganz demselben Rechte sagen, der Muskel besteht aus lauter negativ peripolaren Gruppen, an jedem seiner Endquerschnitte findet sich jedoch eine einfache Schicht dipolarer Molekeln, welche negative Pole nach Aufsen kehren.

Diese Anschauungsweise wollen wir jetzt für einen Augenblick benutzen. Offenbar können wir, auf sie fufsend, folgendermafsen weiter schliefsen. Man denke sich jene beiden Grenzschichten dipolarer Molekeln hinweg. Es bleibt, nach unserer Voraussetzung, ein vollständiges System negativ peripolarer Gruppen zurück, welches negativ wirken mufs. Aber indem wir auf dies System dieselben Schlufsfolgen anwenden, die wir so eben auf das positiv peripolare anwendeten, gelangen wir zu der Einsicht, dafs wir uns statt des negativ peripolaren Systems auch ein positiv peripolares denken können, an jedem Endquerschnitte versehen mit einer Grenzschicht dipolarer Molekeln, welche aber diesmal positive Pole nach Aufsen kehren.

Es ist somit klar, was bewiesen werden sollte; nämlich dafs die Wirkungsrichtung des Muskels schon allein dadurch vom Positiven in's Negative verkehrt werden kann, dafs an jedem Endquerschnitt die äufserste Schicht dipolarer Molekeln unwirksam wird, so dafs der

Digitized by Google

Querschnitt überzogen zurückbleibt mit einer einfachen Schicht dipolarer Molekeln, die positive Pole nach Aufsen kehren.

Natürlich hat es keine Schwierigkeit, auf demselben Wege auch die mannigfaltigen Zwischenstufen zwischen der positiven und negativen Grenzwirkung und dem Zustande der Unwirksamkeit, wie auch diesen Zustand selber abzuleiten. Dazu bedarf es nur der Voraussetzung, dafs die äufserste Schicht dipolarer Molekeln, die negative Pole nach Aufsen gekehrt hält, nicht am ganzen Querschnitt vernichtet ist, sondern nur in einer gewissen Ausdehnung desselben. Ist ungefähr die Hälfte des Querschnittes von der Veränderung betroffen, so mufs der Muskel unwirksam erscheinen. Ist ein gröfserer Bruchtheil seiner Ausdehnung davon ergriffen, so mufs er bereits negativ wirken. Ist endlich nur ein kleinerer Bruchtheil als die Hälfte dergestalt verändert, so mufs der Muskel noch positiv wirksam sein, aber scheinbar mit geringerer Kraft. Es ist dabei gleichgültig, ob man sich denkt, dafs der natürliche Querschnitt jedes einzelnen Primitivmuskelbündels diese Unterschiede darbietet, oder ob man sie dem Gesammtquerschnitt des Muskels zuschreibt, so zwar, dafs sie den natürlichen Querschnitt ganzer Gruppen von Primitivmuskelbündeln betreffen.

Es versteht sich übrigens von selbst, dafs nicht gerade eine Vernichtung der elektromotorischen Kräfte der äufsersten Schicht dipolarer Molekeln nothwendig ist, um den Muskel negativ wirksam zu machen. Es wird ausreichen, dafs die Molekeln der Schicht mit ihren Axen solche Lagen im Raume einnehmen, dafs ihre Gesammtwirkung gleich Null werde; dafs also z. B. diese Axen alle möglichen Lagen im Raume einnehmen, oder sich sämmtlich in eine der Fläche des Querschnittes gleichlaufende Fläche begeben, oder endlich ihre gleichnamigen Enden in gleicher Anzahl in's Freie und nach dem Muskel zu kehren. In allen diesen Fällen wird der Muskel negativ wirken, oder er wird sich, wenn die Veränderungen nur einen Bruchtheil der Ausdehnung des Querschnittes betroffen haben, auf einer Zwischenstufe zwischen der negativen und der positiven Grenzwirkung befinden, welche durch die Gröfse jenes Bruchtheiles bestimmt wird.

Endlich anstatt sich zu denken, dafs die äufserste Schicht dipolarer Molekeln am Querschnitte dergestalt ganz oder zum Theil unwirksam wird, kann man sich, mit gleichem Erfolg in elektromotorischer Beziehung, natürlich auch vorstellen, dafs am Querschnitt eine einfache Schicht dipolarer Molekeln hinzukomme, welche positive Pole nach Aufsen kehren. Auch von dieser Veränderung des Querschnittes kann man sich denken, dafs sie sich über seine ganze Ausdehnung, oder nur über einen Bruchtheil derselben erstrecke. Je gröfser der Bruchtheil ist, um so mehr

Digitized by Google

nähert sich der Muskel der negativen Grenzwirkung. Auf dem übrigen Querschnitt braucht die Schicht nicht zu fehlen, nur müssen ihre Molekeln daselbst so angeordnet sein, dafs die Gesammtwirkung nach Aufsen Null ist, wie dies so eben erörtert worden ist.

Ich brauche kaum zu sagen, dafs, wenn hier stets von einer einfachen Schicht dipolarer Molekeln die Rede war, dies nicht deshalb geschah, weil nur eine solche die in Rede stehenden Wirkungen hervorzubringen im Stande ist, sondern im Gegentheil deshalb, weil bereits eine solche dazu hinreicht, und dies somit die einfachste Annahme ist, die hier irgend gemacht werden kann. Man kann sich aber, elektromotorisch mit wesentlich demselben Erfolge, die negativ wirkende Grenzschicht auch nicht einfach, sondern aus mehreren dipolaren Molekeln übereinander bestehend, vorstellen. Alsdann wird jedoch der negative Strom stärker ausfallen, als der gesetzmäfsige positive. Oder man kann sich auch an die Stelle der einfachen Schicht positive Pole nach Aufsen kehrender dipolarer Molekeln eine einfache oder mehrfache Schicht von negativ peripolaren Gruppen dipolarer Molekeln denken. In dem Fall der einfachen Schicht wird der Muskel schwächer, in dem der mehrfachen Schicht bei einer gewissen Dicke derselben zuletzt fast eben so stark negativ wirken, als der regelmäfsig angeordnete Muskel positiv.

(ii) Versuche zur Bestätigung der vorigen Theorie.

Bei der Wichtigkeit, welche diese Sätze erwähntermafsen hier für uns zu gewinnen bestimmt sind, wollen wir es nicht bei der blofsen theoretischen Erörterung derselben bewenden lassen, wie einleuchtend auch das Dargelegte erscheinen möge. Wir wollen vielmehr die Ergebnisse der Betrachtung noch dadurch zu befestigen suchen, dafs wir sie in Wirklichkeit an einer schematischen Kupferzinkvorrichtung nachweisen, wie wir dies im dritten Kapitel zu thun gelernt haben.

Das oben Bd. I. Taf. VI. Fig. 74. 75 abgebildete, ebendas. S. 672 ff. beschriebene Schema kann hiezu nicht angewendet werden. Eine Zerlegung seiner peripolaren Molekeln in dipolare läfst nämlich erstens dies Schema nicht zu. Hingegen kann man allerdings die positiv peripolaren Molekeln daran leicht in negativ peripolare Molekeln verwandeln, indem man sie um 90° um ihre Cylinderaxe dreht.[1] Trotzdem läfst sich für's

[1] Positiv peripolare Molekeln zwar, wie sie Bd. I. Taf. VI. Fig. 72, Bd. II. Taf. III. Fig. 107 A. dargestellt sind, lassen sich nicht in negativ peripolare verwandeln dadurch, dafs man ihre von Pol zu Pol gehende Axe gegen die des Muskels um einen rechten Winkel neigt, was der Viertelumdrehung der Molekeln unseres Schema's um ihre Cylinderaxe entsprechen würde (Vergl. oben Bd. I. S. 673). Vielmehr ist, um an den wirklichen Molekeln eine solche Verwandlung zu bewirken,

Digitized by Google

zweite die Vorrichtung hier doch nicht einmal anwenden, um zu zeigen, wie die Wirksamkeit des Muskels sich allmälig in's Negative verkehren mufs, wenn am Querschnitt eine immer dickere Lage negativ peripolarer Molekeln angebracht wird. Denn die negative Grenzwirkung, die sich am Schema dadurch erreichen läfst, ist der Zustand der Unwirksamkeit. Dies beruht darauf, dafs bei jener Anordnung der Querschnitt daran völlig dieselbe Beschaffenheit erlangt, als der Längsschnitt, während unsere obigen Betrachtungen voraussetzten, dafs durch die Verwandlung der den Querschnitt begrenzenden positiv peripolaren Gruppen in negativ peripolare, die elektrische Beschaffenheit des Querschnittes um eben so viel, nur im anderen Sinne, von der des Längsschnittes abweichend gemacht werde, als sie vor der Verwandlung davon abwich. Ein Mehreres über diesen Punkt s. am Schlusse dieser Nummer unter (IV).

Jener Zustand der Unwirksamkeit übrigens, als negative Grenzwirkung bei Umwandlung der positiv peripolaren Molekeln am Querschnitt in negativ peripolare, läfst sich leicht beobachten, und zwar tritt er schon bei nur einer Lage negativ peripolarer Molekeln ein, weil der Unterschied der Entfernung der beiden äufsersten Molekelschichten von der Ableitungsplatte im Schema ein vergleichweise viel beträchtlicherer ist, als wir im Muskel voraussetzen. Es versteht sich indefs, dafs man eine vollständige Abwesenheit jeder Wirkung, wenigstens bei ungeschwächter Kraft des Erregers, nie zu sehen bekommt. Die Unwirksamkeit des Schema's giebt sich vielmehr zu erkennen darin, dafs man bald schwache positive, bald eben so schwache negative Ausschläge erhält. Je nach der eigenthümlichen Kraft der negativ peripolaren Grenzschicht und der darunter gelegenen positiv peripolaren Schicht, wie sie durch den verschiedenen Zustand der metallischen Oberflächen im Augenblick des Eintauchens bedingt wird, hat bald die eine und bald die andere Wirkungsrichtung die Oberhand. Giebt man aber, in der äufsersten Molekelschicht, nur der zweiten, vierten, sechsten Molekel die negative Stellung, indem man der ersten, dritten, fünften die positive läfst, oder umgekehrt, so wirkt die Vorrichtung nach wie vor positiv peripolar, und so stark, als ob die abwechselnd positiv und negativ wirkenden Molekeln gar nicht vorhanden wären. Dieser letzte Erfolg kann demnach, insofern es einer solchen überhaupt bedarf, als Bestätigung des Grundsatzes gelten, dafs die Grenzschicht der Molekeln nicht

eine innere Lageverwechselung ihrer elektropositiven und negativen Bestandtheile erforderlich. Diese Abweichung unseres Schema's von der Wirklichkeit beruht, wie man leicht bemerkt, darauf, dafs es nur auf eine Elektricitätsbewegung nach zwei Ausmessungen eingerichtet ist.

Digitized by Google

als wirksam in Betracht kommt, wenn die Molekeln darin solche Stellungen haben, dafs die Gesammtwirkung gleich Null ist.

Um die obigen Betrachtungen durch Versuche gehörig erläutern zu können, liefs ich eine Vorrichtung, in der Art der eben erwähnten, anfertigen, an der aber die Molekeln, statt peripolare, einfach dipolare Beschaffenheit haben. Abermals liefs ich (Vergl. oben Bd. I. S. 672) Röhren aus Kupferblech von 11^{mm} Durchmesser im Metall ziehen, diesmal aber dem Mantel derselben entlang nur einen Zinkstreifen von solcher Breite auflöthen, dafs der Umfang der Röhren dadurch in zwei gleich breite Streifen von Zink und Kupfer getheilt war. Die Röhren wurden, senkrecht auf ihre Axe, in lauter $12^{mm}.5$ lange Stücke zerschnitten, das Zink amalgamirt, das Kupfer inwendig gefirnifst und die Elemente, diesmal nur 60 an der Zahl, mit ihren kreisförmigen Rändern in sechs Reihen, welche etwa 1^{mm} Abstand zwischen sich liefsen, auf ein Brettchen von 126^{mm} Länge und 82^{mm} Breite folgendermafsen aufgekittet. Ihre elektromotorischen Axen, d. h. die die Mittellinie des Zink- und des Kupferstreifens verbindenden Durchmesser, liefen sämmtlich einander und den langen Seiten des Brettchens parallel. Sämmtliche Molekeln einer Reihe kehrten einem und demselben Ende der Vorrichtung abwechselnd Zink und Kupfer zu. Die den Querschnitt an der kurzen Seite des Brettchens begrenzenden Molekeln wendeten Kupfer in's Freie. Endlich berührten sich sämmtliche einander zugewendete Zinkseiten je zweier der Länge nach benachbarter Molekeln, die eine positiv peripolare Gruppe vorstellten, während ein Zwischenraum von etwa 1^{mm} die einander zugewendeten Kupferseiten je zweier der Länge nach benachbarter Molekeln trennte, welche zwei verschiedenen positiv peripolaren Gruppen angehörten. In jeder Reihe befanden sich also fünf vollständige, aus dipolaren Molekeln zusammengesetzte positiv peripolare Gruppen. Man hat sich diese Vorrichtung aus dem Schema Fig. 107 A. Taf. III. dieses Bandes auf die nämliche Art entstanden zu denken, wie die in Fig. 74. 75. Taf. VI. Bd. I. abgebildete, oben Bd. I. S. 672. 673 beschriebene ältere Vorrichtung aus dem Schema Fig. 71. Taf. VI. Bd. I. (S. oben Bd. I. a. a. O.) In Fig. 143 A. findet sich ein Stück der neuen Vorrichtung im Grundrifs von unten gesehen in eben der Weise dargestellt, wie dies, für die ältere Vorrichtung, in der eben angeführten Fig. 75. Taf. VI. des ersten Bandes geschehen ist.

Die elektromotorische Prüfung der neuen Vorrichtung wurde in dem nämlichen Troge und mit den nämlichen Ableitungsplatten vorgenommen, als die der älteren Vorrichtung. Es zeigte sich zunächst, woran wohl von vorn herein kein Zweifel war, dafs sich die neue Vorrichtung der älteren, und somit den Muskeln und Nerven, elektromotorisch in allen

Digitized by Google

Stücken gleich verhielt. Zwischen Längs- und Querschnitt herrschten starke Ströme in der Richtung vom ersteren zum letzteren in dem Bogen; zwischen asymmetrisch gelegenen Punkten des Längsschnittes allein Ströme in der Richtung von dem der Mitte des Längsschnittes näheren Punkte zu dem der Mitte des Querschnittes näheren. Bei diesem Versuche war die Länge des Troges durch eine auf die hohe Kante gestellte, an seinen Boden und seine Wände angekittete Querleiste bis auf nur etwas mehr als 126^{mm} verkürzt, um die Verhältnisse den am Muskel obwaltenden ähnlicher zu machen, d. h. um zu bewirken, dafs bei Abwesenheit des Bogens kein Gesammtstrom am Längsschnitt herrsche (Vergl. oben Bd. I. S. 640 ff. 659. 674). Die Ströme wuchsen an Stärke, wie die ableitenden Platten, bei beständigem Abstande von einander, von der Mitte des Längsschnittes nach dem Querschnitt hin verschoben wurden. Ueber das Gesetz dieses Wachsthums liefs sich hier so wenig wie an der älteren Vorrichtung etwas Sicheres ausmachen (S. oben Bd. I. S. 675). Das Gesetz der Veränderung der Stromstärke mit der Spannweite des ableitenden Bogens fand sich hier wie dort bewährt (S. ebendas.).

Nunmehr schritt ich zu den eigentlich hier beabsichtigten Versuchen, welche zum Zweck haben die thatsächliche Begründung dessen, was oben von dem Einflufs des Zustandes der den Querschnitt begrenzenden Molekelschicht auf die elektromotorischen Leistungen des Muskels gesagt worden ist.

Zu diesem Behuf war folgende Einrichtung getroffen. An jedem Ende des Brettchens der neuen Vorrichtung konnte mittelst Zapfen (S. Fig. 143 B) eine Leiste von gleicher Dicke mit dem Brettchen, gleicher Länge mit seiner Breite, und von 13^{mm} Breite angesetzt werden. Auf diese Leisten waren sechs dipolare Molekeln von gleicher Beschaffenheit mit denen der Vorrichtung dergestalt aufgekittet, dafs, wenn die Leisten an das Brettchen angesetzt waren, die elektromotorischen Axen (S. oben) der Molekeln in der Verlängerung der Axen der sechs Molekelreihen des Brettchens lagen. Dabei kehrten die Molekeln auf den Leisten ihre positiven Pole in's Freie, ihre negativen Pole aber den negativen Polen der Grenzschicht des Brettchens zu. Zwischen den negativen Polen der Molekeln auf den Leisten und denen der Molekeln der Grenzschicht auf dem Brettchen blieb ein Zwischenraum von etwa 1^{mm}, wie zwischen den negativen Polen je zweier der Länge nach benachbarten peripolaren Gruppen der Vorrichtung. Vergl. die Figur. Man sieht, die positive Pole in's Freie kehrenden Molekelreihen auf den Leisten verwandeln, wenn man von dem Unterschiede der Abstände zwischen den positiven und zwischen den negativen Polen je zweier der Länge nach benach-

Digitized by Google

harter dipolaren Molekeln absieht (Vergl. oben S. 89), die früher positiv peripolare Anordnung in die negativ peripolare.

In der That, taucht man nun die Vorrichtung in den Trog vor den an seiner langen und seiner kurzen Seite aufgestellten Ableitungsplatten ein, so erhält man einen Strom zwar von merklich gleicher Stärke wie vorhin, aber von entgegengesetzter Richtung. Ganz wie wir es erwartet haben, und wie es auch nicht anders sein kann, verhält sich der an sich neutrale Längsschnitt nunmehr statt positiv gegen den negativen, negativ gegen den positiven Querschnitt. Sobald man die Leisten mit ihrer gesetzwidrig angeordneten Molekelreihe wieder entfernt, tritt auch das alte Verhalten zwischen Längs- und Querschnitt wieder ein. Ja man kann auch nur an einem Ende des Brettchens die zugehörige Leiste anbringen, das andere davon freilassen, so dafs nur ein Querschnitt mit der gesetzwidrig angeordneten Schicht bekleidet erscheint. Alsdann verhält sich der Längsschnitt positiv gegen den von der Schicht freien, negativ gegen den damit überzogenen Querschnitt, so dafs der Strom im Multiplicator entgegengesetzte Bahnen einschlägt, je nachdem man der an der kurzen Seite des Troges befindlichen Ableitungsplatte den einen oder den anderen Querschnitt zukehrt. Bei dieser Anordnung ist aber begreiflich der stärkste zu erhaltende Strom keineswegs der zwischen dem neutralen Längsschnitt und dem negativen oder positiven Querschnitt, sondern der zwischen den beiden ungleichartigen Querschnitten selber, zwischen denen sonst, bei regelmäfsiger positiv oder negativ peripolarer Anordnung, gar kein Strom herrscht, und übertrifft dieser Strom an Stärke den sonst stärksten bei regelmäfsiger Anordnung theoretisch um das Doppelte.

Jetzt würde es sich darum handeln, auf diese Weise auch noch die Mittelstufen der elektromotorischen Wirksamkeit des Muskels zwischen der positiven und der negativen Grenzwirkung nachzuahmen, d. h. diejenige Beschaffenheit des Muskels, bei der er entweder ganz unwirksam erscheint, oder nur schwach positiv oder negativ wirksam ist. Das Mittel dazu würde, unseren obigen Erläuterungen gemäfs, einfach darin bestehen, den ursprünglich negativen Querschnitt des Muskels nur zum Theil mit dipolaren, positive Pole nach Aufsen kehrenden Molekeln zu bekleiden. Dies ist leicht gemacht. Man braucht dazu aus der Molekelreihe auf den Leisten nur so viel Elemente fortzubrechen, als der jedesmalige Zweck des Versuches erheischt.

Das Ergebnifs dieser Prüfung ist aber kein ganz befriedigendes, insofern es nicht gelingt, die theoretische Voraussicht im Versuch reinlich darzustellen. Man stöfst auf nicht zu bewältigende Störungen von Seiten verschiedener Umstände. Nichtsdestoweniger ist der Erfolg der

Digitized by Google

Art, dafs an der Richtigkeit der in Rede stehenden Grundsätze kein Zweifel obwalten kann.

Wenn man nach und nach die Zahl der gesetzwidrig gestellten Elemente auf den Leisten vermindert, müfste man, so verlangt es die Theorie, den negativen Strom abnehmen sehen, bei nur noch drei Molekeln auf jeder Leiste müfste er verschwinden, bei immer weiter verminderter Anzahl mit verändertem Zeichen wiederkehren und dabei wiederum an Stärke wachsen, bis er endlich, mit Abbruch der letzten Molekel, den positiven Grenzwerth erreichte, entsprechend dem negativen, von dem er ausgegangen war.

In Wirklichkeit nun wird dieser Verlauf nie beobachtet. Nur ein Zug davon bleibt regelmäfsig zurück. Er besteht darin, dafs mit jeder Molekel, die man von der Leiste abbricht, die Vorrichtung in der That an negativer Wirksamkeit einbüfst, an positiver gewinnt.

Allein erstens gelingt es nie, die Vorrichtung wirklich stromlos zu sehen, es bleibt immer eine mehr oder weniger starke Wirkung im einen oder anderen Sinne zurück.

Für's zweite findet sich dies, in Abwesenheit eines wahrhaften Nullpunktes, dafür eintretende Minimum der Wirksamkeit im einen oder dem anderen Sinne verschoben, so zwar dafs bald bereits mit dem Abbrechen nur einer, oder wenigstens zweier Molekeln die Vorrichtung positiv wirkt, bald das Gegentheil eintritt; d. h. sie wirkt noch schwach negativ, auch wenn die Leisten nur noch zwei oder gar nur eine gesetzwidrig angeordnete Molekel tragen. Nicht selten zeigt, von den beiden Enden der Vorrichtung, das eine das erste, das andere das zweite beschriebene Verhalten.

Dies ist aber noch nicht Alles. Es kommt nämlich auch vor, dafs man, wenn die Leisten nur noch mit wenig Elementen besetzt sind, doppelsinnige Ausschläge erhält. Z. B. bei drei Molekeln sind die Ausschläge beim Eintauchen der Vorrichtung noch entschieden negativ, aber die Ausschläge der Ladungen beim Entfernen des Elektromotors sind bereits entweder auffallend klein, oder gar verkehrt, d. h. sie haben im Multiplicatorkreis die Richtung des negativen Stromes der Vorrichtung. Bricht man dann noch eine oder zwei Molekeln fort, so erhält man beim Eintauchen zwar noch einen kleinen negativen Ausschlag, allein auf dem Fufse gefolgt von einem weit gröfseren positiven Rückschwung, so dafs man sieht, der Strom hat sich wenige Augenblicke nach dem Eintauchen umgekehrt, was überdies durch die verkehrten Ladungen bestätigt wird.

Von einem Theile dieser Unregelmäfsigkeiten hält es nicht schwer, sich Rechenschaft zu geben. Eine Verschiebung des Nullpunktes der

Digitized by Google

Wirksamkeit der Vorrichtung in dem Sinne, dafs die Vorrichtung noch negativ wirkt, wenn gleich von den Leisten bereits die Hälfte oder mehr als die Hälfte der gesetzwidrig angeordneten Elemente entfernt ist, hätten wir im Grunde voraussehen können. Denn die Verhältnisse unserer Vorrichtung sind von denen, die wir bei unserer theoretischen Erörterung vorausgesetzt haben, insofern verschieden, als in der ersteren der Unterschied der Entfernung der beiden äufsersten Molekelreihen von den Ableitungsplatten ein vergleichweise viel beträchtlicherer ist, als wir annehmen, dafs er im Muskel sei. Es kann also, an der Vorrichtung, die Wirkung der Molekelreihe auf der Leiste die Wirkung der Grenzschicht noch aufwiegen, ja überwiegen, auch wenn die Anzahl der Molekeln in der ersteren eine kleinere geworden ist als die Hälfte. Demgemäfs müfste auch die negative Wirkung der Vorrichtung bei Gegenwart der Leisten die positive bei Abwesenheit der Leisten übertreffen.

Es scheint jedoch, als ob der Einfluſs dieses Umstandes nur verschwindend sei gegen den der zufälligen Ungleichheiten in der ursprünglichen Kraft und Polarisationsfähigkeit der Kupferzinkelemente. Denn bald übertrifft, bei vollzähliger Molekelreihe auf den Leisten, die negative Wirkung in der That die positive nach Entfernung der Leisten, bald ist das Umgekehrte der Fall, und so ist denn auch erwähntermafsen häufig der Nullpunkt der Wirksamkeit in dem entgegengesetzten Sinne von dem verschoben, den man nach der ebenangestellten Betrachtung, betreffend die gröfsere Nähe der gesetzwidrig angeordneten Molekeln, erwarten sollte. Dafs aber der Grund dieser Abweichung wirklich der oben angegebene sei, erhellt aus Folgendem. Es mögen die den Längsschnitt vorstellenden langen Seiten der rechteckigen Vorrichtung L, L_1, die den Querschnitt vorstellenden kurzen Seiten Q, Q_1 heifsen. Leitet man den Strom abwechselnd von L, Q, von L, Q_1, von L_1, Q und von L_1, Q_1 ab, bei sonst möglichst unveränderter Stellung der Vorrichtung und der Ableitungsplatten im Troge, so müfste die Stärke des Stromes stets die nämliche sein. Keinesweges ist jedoch dies der Fall. Sondern man findet, zwischen den Stromstärken bei den vier Ableitungsarten, die auffallendsten Unterschiede vor, welche also durchaus von nichts herrühren können als von der verschiedenen Kraft der Kupferzinkelemente und ihrer verschiedenen Neigung, Ladungen anzunehmen. In Uebereinstimmung damit zeigt es sich, dafs, wenn z. B. zwei gesetzwidrig gestellte Molekeln auf der Leiste am Querschnitt Q die Oberhand behaupten über die darunter gelegene Grenzschicht, am Querschnitt Q_1 hingegen das Umgekehrte beobachtet wird, alsdann auch meistens der Querschnitt Q_1 gegen einen bestimmten Längsschnitt L

Digitized by Google

oder L_1 stärker negativ gefunden wird als der Querschnitt Q gegen denselben Längsschnitt.

Was die doppelsinnigen Wirkungen betrifft, so bin ich aufser Stande, etwas Genügendes zu ihrer Erklärung beizubringen. Augenscheinlich können sie auf nichts anderem beruhen, als darauf dafs die Wirkung der gesetzwidrig gestellten Molekeln schneller sinkt, als die der darunter gelegenen Grenzschicht. Sie sind um so räthselhafter, als sie nicht in gleicher Weise beobachtet werden, wenn man die Leisten mit ihren Zink nach Aufsen kehrenden Molekeln entfernt, und aus den Kupfer nach Aufsen kehrenden Grenzschichten eine Molekel nach der anderen entfernt.

Indessen zeigt dieser Umstand nur um so klarer, wie es sich hier um irgend eine Verwickelung von Seiten der Ladungen handle, welche mit den zu erweisenden Grundsätzen nichts zu schaffen hat, und die wir somit unbesorgt auf sich beruhen lassen können. Sie rührt von denselben zufälligen Eigenschaften unserer Vorrichtungen her, die uns schon früher bei so manchen Gelegenheiten störend in den Weg getreten sind (S. oben Bd. I. S. 600 ff.). Diese Eigenschaften sind die der unbeständigen Ketten überhaupt. Die daraus entspringenden Störungen müfsten wegfallen, wenn es gelänge, schematische Vorrichtungen nach dem Vorbilde der thierischen Erreger hervorzubringen, an welchen die elektromotorischen Molekeln, statt durch Ketten von unbeständiger, durch solche von beständiger Kraft nachgeahmt wären. Ich halte dies für wohl ausführbar, wenn man an die Stelle der selbstthätigen Elemente, wie wir sie bisher angewendet haben, Elektrodenpaare beständiger Ketten setzte, und die Flüssigkeit im Troge im Verhältnifs zur Natur der Elektroden dabei so wählte, dafs keine Ladung der Elektroden möglich wäre. Auch die Ableitungsplatten könnten alsdann von Ladungen freigehalten werden, indem man sie aus demselben Metalle nähme, als die Elektroden. Die Ausführung einer solchen Vorrichtung behalte ich mir auf eine spätere Zeit vor.

Für jetzt betrachten wir die oben dargelegten Ansichten über die Umkehrungserscheinungen der thierisch-elektrischen Ströme und die Zwischenstufen dieser Erscheinungen für gleich bewiesen in der Theorie und Erfahrung, und werden nun, mit ihrer Hülfe, dazu schreiten, das Wesen des parelektronomischen Zustandes mit einigem Verständnifs zu durchdringen.

Digitized by Google

(III) Anwendung der obigen Grundsätze auf die Theorie des parelektronomischen Zustandes der Muskeln.

Die eben ausführlich erörterte dritte Hypothese, wodurch es gelingt, sich Rechenschaft zu geben von dem Unwirksamwerden oder der Umkehr der Strömungsrichtung der peripolaren Erreger, wiesen wir oben Abth. I. S. 556 von der Hand aus dem Grunde, dafs sie erstlich nicht stimmte mit der Wirkungsart der Ursachen, die die Stromesumkehr herbeiführten und mehr die ganze Masse der thierischen Erreger als den Querschnitt allein zu treffen geeignet schienen; für's zweite, weil wir auch im Stande waren, den Beweis zu führen, dafs wirklich eine Lageänderung der Molekeln durch die ganze Masse des Muskels oder Nerven die Stromesumkehr begleiten müsse. Denn wo man an einem Nerven, einem Muskel, der in Folge der oben ebendas. beschriebenen Behandlungsarten negativ wirkt, einen Querschnitt anlegt, man findet ihn positiv, während er sonst negativ gefunden wird. Es müssen also, durch die ganze Masse des Muskels oder Nerven, die dipolaren Molekeln in Gestalt negativ peripolarer Gruppen zu einander in solche Beziehung gerathen sein, dafs ein durch den Muskel oder Nerven geführter Schnitt nicht mehr wie sonst stets zwischen die einander zugekehrten negativen Pole, sondern nur noch zwischen die positiven Pole je zweier dipolaren Molekeln fallen könne.

Hier nun ist die Sachlage eine ganz verschiedene. Wir finden den natürlichen Querschnitt unwirksam oder gar positiv gegen den Längsschnitt, dagegen den künstlichen Querschnitt stets, wie gewöhnlich, negativ. Es ist also diesmal keine solche Lageänderung der Molekeln durch die ganze Masse des Muskels vor sich gegangen, sie sind noch zu positiv peripolaren Gruppen zusammengefügt und schon daraus kann geschlossen werden, dafs der natürliche Querschnitt im parelektronomischen Zustande nothwendig der Sitz von elektromotorischen Kräften sein müsse, die denen des übrigen Muskels entgegenwirken, ihnen die Wage halten, ja sie zu überwiegen vermögen. Wir sehen aufserdem den natürlichen Querschnitt in diesen Versuchen eine ganz besondere Rolle spielen, zwar nicht insofern als die Ursache, welche den parelektronomischen Zustand herbeiführt, hier mehr wie dort geeignet schiene, den natürlichen Querschnitt vorzugsweise zu berühren, wohl aber insofern als das einzige uns mit Sicherheit bekannt gewordene Mittel, die Negativität des natürlichen Querschnittes zu entwickeln, darin besteht, ihn mit ätzenden Flüssigkeiten anzugreifen.

Es tritt demnach hier, im Gegensatz zu den Erscheinungen der freiwilligen Stromesumkehr und der nach Mifshandlungen, die Noth-

Digitized by Google

wendigkeit ein, jene dritte Hypothese in Anwendung zu ziehen. Wir stellen uns vor, dafs im Inneren des Muskels überall die positiv peripolare Anordnung herrscht, so dafs jeder künstliche Querschnitt nur negative Pole positiv peripolarer Gruppen dipolar elektromotorischer Molekeln darbietet. Der natürliche Querschnitt des Muskels dagegen ist bekleidet mit einer beliebig dünnen, immerhin einfachen Schicht dipolarer Molekeln oder auch einer mehrfachen Schicht peripolarer Gruppen, die positive Pole nach Aufsen wenden. Je nachdem diese Schicht den natürlichen Querschnitt stetig überzieht, oder stellenweise die darunter gelegenen negativen Pole der ersten Schicht positiv peripolarer Gruppen freiläfst, ist der Muskel mehr oder weniger stark negativ wirksam, oder unwirksam, oder mehr oder weniger stark positiv wirksam. In einem dieser drei Zustände finden wir den Muskel vor. Was wird nöthig sein, um ihn sogleich mit aller Kraft seiner elektromotorischen Molekeln positiv wirksam erscheinen zu lassen? Nichts weiter, wie in die Augen springt, als seinen natürlichen Querschnitt auf irgend eine Art von jener Schicht zu befreien, welche ihn weniger negativ, neutral oder gar positiv gegen den Längsschnitt erscheinen läfst, und dadurch der negativen Wirksamkeit der darunter gelegenen Schicht positiv peripolarer Gruppen freie Bahn zu machen.

Es wird gleichgültig sein, auf welche Art die Schicht beseitigt wird. Es kann dies z. B. einfach auf mechanischem Wege geschehen. Das also wäre nun endlich die wahre Bedeutung des Umstandes, dafs der künstliche Querschnitt stets bereits wirksam gefunden wird. Es läfst sich jedoch dem Versuche noch eine lehrreichere Form ertheilen. Spannt man nämlich einen parelektronomischen Gastroknemius, dem man sein oberes und unteres Knochenstück gelassen hat, in der bekannten Weise in der kleinen Streckvorrichtung aus (S. oben Abth. I. S. 67), und legt die Bäusche an die Knochenstücke an, so erhält man natürlich dieselben Wirkungen, als ob der Muskel mit sehnigen Enden aufgelegt wäre, nämlich je nach der Stufe des parelektronomischen Zustandes, auf der der Muskel verharrt, einen mehr oder weniger starken negativen, gar keinen oder einen schwachen positiven Ausschlag und die entsprechenden beständigen Ablenkungen. Sobald man aber, während der beständigen Ablenkung der Nadel, mit einem Scalpell die Ausbreitung der Achillessehne zum Theil fortschneidet, so dafs ein schräger künstlicher Querschnitt entsteht, erfolgt ein starker positiver Ausschlag. Man kann auch, um den Verdacht auf eine elektromotorische Wirkung von Seiten der Klinge zu entfernen, die sehnige Ausbreitung, so gut es eben gehn will, mittelst einer Glasscherbe abschaben. Der Erfolg bleibt derselbe, obschon der Ausschlag aus leicht ersichtlichen Gründen nicht

Digitized by Google

die nämliche Heftigkeit zeigt. Schält man mittelst einer kleinen Cooper'schen Scheere die Ausbreitung vor dem Auflegen auf allen Punkten ab, was sehr leicht von Statten geht, so wirft der Gastroknemius die Nadel sofort an die Hemmung.

Hier also, würde man sich zu denken haben, tritt der positive Strom defshalb sofort mit aller Kraft hervor, weil die den natürlichen Querschnitt zum Theil bekleidende Schicht positiv nach Aufsen wirkender Molekeln mitsammt dem sehnigen Ueberzuge plötzlich entfernt wird. Es ist völlig der nämliche Vorgang, als der an dem Molecularschema, wenn man eine der Leisten entfernt, die die gesetzwidrig angeordneten Molekelreihen tragen. Ist dies aber richtig, so mufs man sichtlich das Nämliche leisten können, indem man die Schicht zwar nicht entfernt, aber doch ihrer elektromotorischen Wirksamkeit beraubt.

Die Muskelsubstanz ihrer elektromotorischen Wirksamkeit zu berauben, dazu haben wir verschiedene Mittel in Händen. Eines dieser Mittel besteht z. B. darin, die Muskelsubstanz mit Stoffen in Berührung zu bringen, welche dieselbe chemisch angreifen (S. oben Abth. I. S. 183). Das also wäre nunmehr das Geheimnifs jenes räthselhaften Stromentwickelungsvorganges immer nach dem nämlichen Gesetze, immer in der nämlichen Richtung, unter dem Einflusse der chemisch und physikalisch verschiedenst gearteten Flüssigkeiten, mit denen der natürliche Querschnitt benetzt wurde. Die einzige gemeinsame Eigenschaft, die jene Flüssigkeiten erkennen liefsen, war die, dafs sie Aetzmittel seien; und eben als Aetzmittel waren sie hier wirksam. Sie dienten gewissermafsen, auf chemischem Wege künstliche Querschnitte herzustellen. Sie zerstörten die gesetzwidrige Wirksamkeit der den natürlichen Querschnitt bekleidenden Schicht, wodurch die gesetzliche Thätigkeit des Muskels gelähmt, ja überwältigt erschien; der positive Strom konnte nunmehr an's Licht treten.

Daraus erklären sich denn zunächst verschiedene Umstände, die uns in der Wirksamkeit der entwickelnden Flüssigkeiten aufgefallen sind. Von den Flüssigkeiten wirken die einen rascher, die anderen langsamer, um den ihnen zukommenden positiven Grenzwerth der Stromstärke herbeizuführen (S. oben S. 58). Säuren und Alkalien wirken im Allgemeinen schneller als die Salzlösungen und die mit Wasser schwer mischbaren Flüssigkeiten nicht leitender Natur, Kreosot, Schwefelaether, Essigaether, Terpenthinoel. Augenscheinlich beruht dies auf den bekannten Gesetzen der Diffusion tropfbarer Flüssigkeiten durch thierische Gewebe. Der obere Grenzwerth aber, der bei jeder Flüssigkeit erreicht wird, bei der einen gröfser, bei der anderen kleiner ausfällt (S. oben ebendas.), beruht unstreitig darauf, dafs zwar die ätzenden Flüssigkei-

Digitized by Google

ten sämmtlich die elektromotorische Kraft der Muskelsubstanz schnell ausnehmend verringern, einen gröfseren oder geringeren Theil derselben aber doch kürzere oder längere Zeit hindurch noch bestehen lassen.

Jetzt erst sind wir im Stande zu ermessen, was wir oben S. 59 noch nicht zu beurtheilen wufsten, was den Strom vollständig entwickeln heifse. Als vollständig entwickelt würde der Strom nur dann zu betrachten sein, wenn die elektromotorischen Kräfte der parelektronomischen Schicht gänzlich vernichtet wären, und zugleich die aufser Thätigkeit gesetzte Schicht auch isolirend gemacht wäre, um sie ihrer Wirkung als Nebenschliefsung zu berauben. Alsdann würde der Strom die gröfste der eigenthümlichen Kraft des Muskels entsprechende Stärke erreicht haben, dieselbe, die er bei der mechanischen Entfernung der parelektronomischen Schicht erhalten hätte. Erst von einer Flüssigkeit, welche diesen Forderungen entspräche, würde man mit Recht sagen können, dafs sie den Strom vollständig entwickele.

Die geringe Spur von Entwickelung die bisweilen wahrgenommen wird, wenn der Muskel ruhig sich selber an der Luft überlassen bleibt (S. oben S. 51), ist wohl dem Umstande zuzuschreiben, dafs der äufsere Umfang des Muskels, wozu auch der natürliche Querschnitt gehört, durch die Trocknifs eine verderbliche Wirkung erfährt, vor der das Innere des Muskels geschützt ist. In Folge dieser Wirkung büfst der natürliche Querschnitt etwas von seiner Kraft ein, und der positive Strom des unversehrten Muskelinneren gewinnt etwas an Uebergewicht. Die Schwächung, die der Strom durch den oberflächlichen Angriff des Längsschnittes erleidet, kommt gegen dieses gewonnene Uebergewicht hier eben so wenig in Betracht, als wenn der ganze Muskel oder die ganze Gliedmafse in eine ätzende Flüssigkeit getaucht wird, wie es anfangs in unsern Versuchen der Fall war.

Die spurweise Entwickelung die sich oft einstellt, wenn man versucht die entwickelnde Flüssigkeit oder Metallfläche nur den Längsschnitt berühren zu lassen (S. oben S. 53. 54. 66), kann aufser auf dem eben erwähnten Umstand auch noch beruhen auf der Schwierigkeit, die äufserlich so verwischte Grenze zwischen Längsschnitt und natürlichem Querschnitt in Wirklichkeit einzuhalten. Zwar ist es richtig, dafs man überdies dabei an den der Faserrichtung nicht parallelen Grenzen des Verbreitungsbezirks der ätzenden Flüssigkeit künstliche Querschnitte chemisch anlegt bis zu der Tiefe bis zu welcher die Flüssigkeit in den Muskel eindringt. Von diesen künstlichen Querschnitten könnte man versucht sein, den spurweise hervortretenden Strom abhängig zu machen. Allein es möchte doch schwer zu verstehen sein, weshalb die Richtung dieses Stromes stets die positive sei, oder weshalb stets von den

Digitized by Google

beiden künstlichen Querschnitten eines und desselben Primitivmuskelbündels, die man chemisch hergestellt hat, der obere, aufsteigend wirksame, allein zur Geltung kommen sollte.

Leicht zu erklären ist jetzt auch der Umstand, der beim ersten Anblick so höchst räthselhaft erscheinen mufste, dafs der Ausschlag, den man von einem parelektronomischen Muskel erhält, wenn man den Muskel zugleich vor Entwickelung seines Stromes schützt, allmälig im Sinken begriffen erscheint, während man doch sogleich noch sehr viel heftigere Wirkungen hervorlocken kann, sobald man den Muskel entwickelnden Einflüssen preisgiebt (S. oben S. 44). Denn in jenem ersten Ausschlage giebt sich allein der Unterschied der Kräfte kund, mit denen der Muskel positiv und mit denen er negativ zu wirken bestrebt ist. Sinken im Lauf des Versuches diese Kräfte in gleichem Mafse, so ist es klar mufs auch ihr Unterschied in demselben Mafse sinken. Dies verhindert aber nicht, dafs wenn nun die am natürlichen Querschnitt hausenden Kräfte, mit denen der Muskel negativ zu wirken trachtete, auf die eine oder die andere Weise aufser Wirksamkeit gesetzt werden, die Wirkung der allein übrig bleibenden positiven Kräfte sehr viel gröfser ausfalle, als vorher die Wirkung des Unterschiedes zwischen ihnen und den negativen Kräften, wenn auch nicht mehr so grofs, als wenn man gleich zu Anfang des Versuches, ehe noch das Sinken des Unterschiedes beobachtet worden war, den positiven Kräften durch Vernichtung der negativen Kräfte freie Bahn gemacht hätte.

Dafs der stärkste positive Ausschlag, den man von parelektronomischen Gliedmafsen nach der Entwickelung ihres Stromes erhält, an absoluter Gröfse zuweilen unter dem ersten negativen Ausschlag bleibt, den sie gegeben haben (S. oben S. 38), läfst sich von unserer Theorie aus auf verschiedene Art erklären. Erstlich kann diese Erscheinung einfach darauf beruhen, dafs mittlerweile die elektromotorische Kraft des ganzen Muskels gesunken ist. Für's zweite habe ich diese Erscheinung beobachtet zur Zeit, wo ich allein durch die zufällige Benetzung des Präparates mit der Kochsalzlösung der Zuleitungsgefäfse die Entwickelung blindlings herbeiführte. Der positive Strom würde vielleicht den negativen übertroffen haben, wenn ich sofort nach dem ersten Auflegen entweder den künstlichen Querschnitt mechanisch hergestellt oder den natürlichen Querschnitt mit einer stärker entwickelnden Flüssigkeit benetzt hätte. In der That ist mir, seitdem ich im Besitz dieser vollkommneren Verfahrungsarten bin, jener Fall nicht wieder zu Gesicht gekommen. Endlich drittens ist es mit unserer Theorie durchaus nicht unverträglich, dafs wirklich der negative Strom des natürlichen Querschnittes den positiven sogar des mechanisch dargestell-

Digitized by Google

ten künstlichen Querschnittes an Stärke übertreffe. Es ist dazu keineswegs nöthig, dafs die gesetzwidrig angeordneten Molekeln am natürlichen Querschnitt die im Inneren des Muskels an elektromotorischer Kraft übertreffen, eine Annahme, die wir natürlich nicht gern machen würden. Vielmehr genügt es zu jenem Zweck, dafs sich am Querschnitt nicht eine einfache, sondern eine mehrfache Schicht dipolarer Molekeln von gleicher Kraft mit denen im Muskel befinde, die aber sämmtlich positive Pole nach Aufsen kehren.

So ist demnach unsere Theorie im Stande, von allen bisher beobachteten Erscheinungen des parelektronomischen Zustandes Rechenschaft zu geben. Aber versprochenermafsen leistet diese Theorie noch mehr, es lassen sich aus ihr auch neue noch nicht beobachtete Erscheinungen im Voraus mit Sicherheit ableiten.

Aufser der chemischen Anätzung sind wir noch im Besitz eines anderen, schnell und nach Bedürfnifs örtlich wirkenden Mittels, der elektromotorischen Thätigkeit der Muskelmolekeln ein Ende zu machen. Dies Mittel ist die Temperaturerhöhung (S. oben Abth. I. S. 178). Ist also unsere Theorie richtig, so mufs es gelingen, durch eine oberflächliche Verbrennung oder Verbrühung des natürlichen Querschnittes den positiven Strom des Muskels gerade so gut zu entwickeln, als durch das Anätzen mittelst einer chemisch wirksamen Flüssigkeit.

Wirklich ist dies der Fall. Man spanne den parelektronomischen Gastroknemius, wie oben S. 100, in der kleinen Streckvorrichtung aus. Im geeigneten Augenblick, wenn die Nadel zur Ruhe gekommen ist, bringe man eine heifse Messerklinge, oder um dem Verdacht vorzubeugen, der aus der metallischen Berührung entspringen könnte, eine heifse Porzellanscherbe an die Ausbreitung der Achillessehne an. Man thut am besten, die Scherbe vorher glühend zu machen, und sie so lange an einem anderen Muskel auf ihre Wirkung zu prüfen, bis man findet, dafs der sehnige Ueberzug über den natürlichen Querschnitt sich nicht mehr unter ihr bräunt und rissig wird. Denn alsdann würde künstlicher Querschnitt zu Tage gelegt, und man könnte sagen, der Versuch falle zurück in den, wo wir den künstlichen Querschnitt durch Abschälen des sehnigen Ueberzuges mechanisch entblöfsten. Die Sehne mufs eben nur unter der heifsen Scherbe etwas einschrumpfen und ihren Perlglanz verlieren. Stets fliegt die Nadel sofort an die positive Hemmung.

Man kann auch, statt ihn mit der heifsen Scherbe zu berühren, einen Tropfen heifsen Oeles mit einem Glasstab auf den natürlichen Querschnitt bringen. Natürlich mufs man den Glasstab dabei in und mit dem Oele erhitzen, damit das Oel heifs auf den künstlichen Quer-

Digitized by Google

schnitt gelange. Olivenöl von 200° C. gab an stromlosen Muskeln einen positiven Ausschlag von etwa 15°; Oel von 270° C. aber trieb die Nadel im ersten Ausschlag auf 70°.

Endlich kann man noch einfacher verfahren, indem man den Muskel nur einen Augenblick lang in heifses Wasser taucht. Die Streckvorrichtung ist alsdann nicht nöthig, da der Muskel nicht unverrückt zwischen den Bäuschen bleiben soll. Freilich wird dabei, mit dem Querschnitt, auch der Längsschnitt oberflächlich verbrüht. Der dadurch bedingte Kraftverlust kommt aber nicht in Betracht neben der Entwickelung des Stromes, und man hat dafür den Vortheil, einigermafsen die Grenze der Temperatur bestimmen zu können, welche erreicht sein mufs, damit eine namhafte Wirkung stattfinde.

Taucht man einen parelektronomischen Gastroknemius, der, zwischen seinen sehnigen Enden geprüft, die Nadel fast auf Null liefs, oder gar negativ ablenkte, nur einen Augenblick lang in siedendes Wasser, so bleibt er dauernd verkürzt, weil die verbrühte Schicht an der Oberfläche in zusammengezogenem Zustande erstarrt. Sein Inneres aber bleibt unverletzt, und der Muskel demgemäfs zuckungsfähig. Prüft man ihn abermals auf seinen Strom zwischen sehnigen Enden, so wirft er die Nadel an die positive Hemmung, obschon, wenn man die Ausbreitung der Achillessehne abschält, noch immer eine Verstärkung des Stromes erfolgt. Anschlagen an die Hemmung in Folge des heifsen Wasserbades tritt auch noch ein, wenn die Temperatur des Bades 75—80° C. beträgt. Hier aber findet in der Wirkung der erhöhten Temperatur, der man den natürlichen Querschnitt aussetzt, insofern ein auffallender Sprung statt, als ebensolanges Verweilen des Muskels in Wasser von 65—70° den Strom nur zu einem sehr kleinen Theil entwickelt, also z. B. von einem Muskel, der stromlos erschien, einen Ausschlag von nur 30° hervorlockt. Fährt man aber nur einmal mit demselben Muskel in Wasser von 75—80°, so wirft er die Nadel an die Hemmung.

Da der Muskel, in jedem einzelnen Versuche, vor dem Eintauchen stets die nämliche Temperatur besafs (etwa + 10° C.), so kann dieser Sprung auf nichts anderem beruhen als auf der Nothwendigkeit eines gewissen Temperaturgrades zur raschen Vernichtung der gesetzwidrig angeordneten elektromotorischen Kräfte am natürlichen Querschnitt, und es ist unmöglich dabei nicht zu bemerken das auffallende Zusammentreffen der Grenztemperatur, in Folge deren noch der Muskel die Nadel an die Hemmung wirft, mit derjenigen bei welcher das Eiweifs gerinnt. Die Folge wird übrigens lehren, dafs hier nicht zu denken ist an eine specifische Wirkung der Temperaturerhöhung auf Aufhebung des durch Temperaturerniedrigung herbeigeführten parelektronomischen Zustandes.

Digitized by Google

Ist unsere Theorie richtig so ist ferner klar, geht der Entwickelungszustand des Stromes des einen Querschnittes den anderen Querschnitt nichts an. Bisher haben wir uns die Muskeln immer so vorgestellt, als seien die elektromotorischen Molekeln überall in ihrem Inneren nach gleichem Gesetz und folglich an ihren Endquerschnitten symmetrisch zur Mitte angeordnet. Im parelektronomischen Zustande ist offenbar dafür keine Nothwendigkeit mehr vorhanden. Ursprünglich zwar sind gewifs auch dann die elektromotorischen Molekeln symmetrisch angeordnet. Aber nichts kann uns verhindern, falls, wie gesagt, unsere Theorie sich ferner bewährt, den einen Querschnitt positiv oder neutral zu lassen, statt negativ, wie er sein sollte, dem anderen Querschnitt hingegen auf die eine oder die andere Art, mechanisch, chemisch, kaustisch seine gesetzliche Negativität zu ertheilen. Alsdann werden also die beiden Querschnitte, anstatt sich gleichartig zu verhalten, miteinander ungleichartig sein, ja, falls der unentwickelt gebliebene sich positiv gegen den Längsschnitt verhält, ungleichartiger als jeder von ihnen mit dem Längsschnitt, gerade wie wir dies an unserer schematischen Vorrichtung oben S. 95 beobachtet haben, wenn nur der eine Querschnitt derselben mit einer gesetzwidrig angeordneten Molekelreihe versehen war.

Auch diese Folgerung nun ist es leicht durch den Versuch zu bewahrheiten. Um jenes Verhalten der Muskeln zu beobachten, kann man sich nicht wohl des Gastroknemius bedienen, an dessen oberem Ende der natürliche Querschnitt innerhalb des Muskelfleisches vergraben ist. Es giebt aber am Oberschenkel des Frosches drei Muskeln, die sich trefflich dazu eignen. Es sind dies der Biceps und die beiden leicht trennbaren Köpfe der Semitendinosus Cuv. (S. oben Bd. I. S. 497). Alle drei lassen sich mit sehnigen Enden dergestalt auflegen, dafs an beiden Enden der natürliche Querschnitt sämmtlicher oder wenigstens der meisten Primitivmuskelbündel in der nämlichen Art frei von der Berührung mit den Bäuschen bleibt, wie die Ausbreitung der Achillessehne am Gastroknemius, der grofsen Strecksehne des Unterschenkels am Triceps Cuv. Diese Muskeln sind nämlich langgestreckten Cylindern mit parallelen sehr schräg angelegten Grundflächen zu vergleichen. Die Grundflächen sind die natürlichen Querschnitte. An dem von der Mitte des Muskels abgewandten Ende der grofsen Axe der Ellipse, welche die Grundflächen darstellen, sind die Sehnen befestigt, deren Ausbreitung die Grundflächen überzieht und die Enden der Primitivmuskelbündel an sich aufnimmt. Da beide Enden der Muskeln ziemlich symmetrisch gebaut sind, müfsten sie, bei gleichem Entwickelungszustande ihres Stromes, sich einander im Grunde das Gleichgewicht halten. Indessen wiegt immer das eine oder das andere Ende mehr oder weniger vor.

Digitized by Google

Bepinselt man die untere Sehnenausbreitung eines jener Muskeln, während er im parelektronomischen Zustand aufliegt, mit einer entwickelnden Flüssigkeit, salpetersaurer Silberoxydlösung oder Kreosot, so entsteht ein Ausschlag in aufsteigender Richtung. Läfst man die Nadel zur Ruhe kommen und bepinselt sogleich oder beliebig lange Zeit darauf die obere Sehnenausbreitung mit der entwickelnden Flüssigkeit, so erfolgt ein Ausschlag in der entgegengesetzten, der absteigenden Richtung. Anstatt den ersten Querschnitt auf chemischem Wege negativ zu machen, kann man auch den Muskel quer durchschneiden. Auch dabei bleibt der andere Querschnitt ruhig in seinem Zustande unentwickelter Negativität und der Muskel befindet sich somit völlig in der Verfassung wie oben S. 95 unser Muskelschema, wenn es nur an dem einen Querschnitt eine Leiste mit gesetzwidrig gestellten Molekeln trug.

Nach alledem wird wohl nicht leicht Jemand noch bezweifeln wollen, dafs wir wirklich mit unserer Theorie das Rechte getroffen haben. Nun wird man, mit Hinblick auf das Dasein einer gesetzwidrig angeordneten Schicht elektromotorischer Muskelmolekeln am natürlichen Querschnitt, den Namen gerechtfertigt finden, mit dem ich den in Rede stehenden Zustand der Muskeln belegt habe (Vergl. oben S. 38. 39).

Jetzt ist man im Stande den Vorbehalt zu würdigen, mit dem oben S. 38, als wir das positive Verhalten des natürlichen Querschnittes stark erkälteter Muskeln erkannt hatten, gesagt wurde, es befänden sich diese Muskeln im negativ peripolaren Zustande. Dieser Vorbehalt bezog sich, wie man sieht, auf die Lagerungsweise der Molekeln im Inneren des Muskels. In beiden Zuständen, dem hoch ausgebildeten parelektronomischen sowohl als dem negativ peripolaren, verhält sich der natürliche Querschnitt positiv, statt, wie er sollte, negativ gegen den Längsschnitt. Aber im negativ peripolaren Zustande thut dies auch jeder künstliche Querschnitt, im parelektronomischen Zustande thut es der natürliche Querschnitt allein.

Man sieht ferner, dafs der Vorgang der Stromentwickelung im parelektronomischen Zustande nicht, wie es auf den ersten Blick den Anschein haben konnte, eine neue Bewegungserscheinung des Muskelstromes darstellt (Vergl. oben Bd. I. S. 581. Bd. II. Abth. I. S. 127. 142. 155). In der That geht dabei im Muskel so wenig eine Veränderung seiner elektrischen Kräfte vor sich, als wenn man den Muskelstrom in einem Kreise durch eine andere elektromotorische Kraft aufgewogen hätte, und nun diese wiederum schneller oder langsamer entfernte. Da es sich aber hier um keine Bewegungserscheinung handelt, so verliert der oben S. 38 bemerkte Umstand sein Auffallendes, dafs auch der nicht mehr zuckungsfähige Muskel innerhalb gewisser Grenzen noch der Sitz einer Stromentwickelung werden könne.

Digitized by Google

Man sieht endlich, dafs es in Wahrheit gar keinen Sinn hatte und daher ganz vergeblich war, in den Nerven nach den Spuren eines parelektronomischen Zustandes und einer Stromentwickelung wie in den Muskeln zu suchen (S. oben S. 38. 82). Denn der Sitz dieses Zustandes und des Vorganges, auf dem die Stromentwickelung beruht, ist einzig und allein der natürliche Querschnitt. Es gebricht aber den Nerven an einem solchen, der zur Untersuchung geeignet wäre.

Die gesetzwidrig angeordnete Molekelschicht am natürlichen Querschnitt, welche positive Pole nach Aufsen kehrt, wollen wir fortan schlechthin als parelektronomische bezeichnen.

Es wird wohl nicht Einer das Verlangen tragen, dafs diese Schicht mit dem Messer mechanisch isolirt, und dadurch ihr Dasein unmittelbarer, als bisher, nachgewiesen werde. Indessen läfst sich doch ein Versuch anstellen, der fast dasselbe leistet. Es gelingt nämlich leicht, mit Hülfe einer kleinen Cooper'schen Scheere, von Innen her das Muskelfleisch des Gastroknemius dergestalt von der Ausbreitung der Achillessehne abzutragen, dafs diese Ausbreitung nur noch gleichsam mit den Stoppeln der als Halme gedachten, darin eingepflanzten Muskelbündel bedeckt zurückbleibt. Hier hat man nun, nach unserer Theorie, die parelektronomische Schicht, von Aufsen mit der Sehnenhaut, von Innen nur noch mit einer dünnen Schicht nicht dazugehöriger Muskelsubstanz überzogen. Bringt man den so zugerichteten sehnigen Ueberzug eines parelektronomischen Gastroknemius zwischen die mit Eiweifshäutchen bekleideten Bäusche, so dafs der eine Bausch die innere, der andere die äufsere Fläche des Ueberzuges berührt, so erfolgt ein heftiger Strom im Multiplicatorkreise in der Richtung von aufsen nach innen, ganz wie unsere Theorie es verlangt. Der Ausschlag kann stärker werden selbst als der, den man von kräftigen mit künstlichem Querschnitt aufgelegten Oberschenkelmuskeln erhält, nicht allein wegen der Positivität des natürlichen Querschnittes im Fall der Gastroknemius negativ wirksam war (Vergl. oben S. 95. 106), sondern auch bei nur stromloser Beschaffenheit desselben, also neutralem natürlichen Querschnitt, wegen des verhältnifsmäfsig so geringen Widerstandes des Kreises bei dieser Anordnung.

Uebrigens versteht es sich von selbst, dafs die elektromotorische Wirkung eines dergestalt isolirten Ueberzuges sehr vergänglich ist. Denn die Negativität des künstlichen Querschnittes ist, wie wir von früherher wissen (S. oben Abth. I. S. 557), in raschem Sinken begriffen, hingegen die des natürlichen Querschnittes entwickelt sich durch das Hühnereiweifs des Eiweifshäutchens (S. oben S. 53). Beide Querschnitte eilen demgemäfs der Gleichartigkeit entgegen, und wie wir in der Folge

Digitized by Google

sehen werden, wird unter anderen Umständen dieser Punkt nicht allein erreicht, sondern sogar überschritten. Allein hier ist die Masse des Muskelfleisches im Vergleich zur Oberfläche, von deren sämmtlichen Punkten verderbliche Einflüsse sie erreichen, so gering, dafs ganz abgesehen von jenem Widerspiel elektromotorischer Kräfte, die Wirksamkeit der Anordnung bald völlig zu Grunde geht.

Ich habe diesen Versuch noch folgendermafsen weiter auszubeuten versucht. Ich brachte in den Multiplicatorkreis einen schräg durchschnittenen Semimembranosus Cuv., so dafs auf der einen Seite Längsschnitt, auf der anderen Seite die scharfe Kante zwischen Längsschnitt und dem schrägen künstlichen Querschnitt berührte. Dieser Querschnitt hatte also im Kreise ungefähr die nämliche Anordnung, als der natürliche Querschnitt des Gastroknemius, und man erhält demgemäfs einen starken Muskelstrom, der in den Muskel zu dem schräg abgeschnittenen Ende einkehrt. Wir haben diese Anordnung schon bei einer früheren Gelegenheit einmal benutzt (S. oben S. 78). Ich hoffte nun, dafs, wenn ich den schrägen künstlichen Querschnitt mit dem auf die eben beschriebene Art dargestellten sehnigen Ueberzuge eines parelektronomischen Gastroknemius bekleidete, der Muskel dadurch gewissermafsen künstlich parelektronomisch gemacht sein würde. Es mufste also beim Auflegen des sehnigen Ueberzuges ein negativer Ausschlag erfolgen, beim Entfernen oder beim Benetzen desselben mit einer entwickelnden Flüssigkeit ein positiver Ausschlag. Ferner erwartete ich, dafs, wenn ich den sehnigen Ueberzug dem schrägen künstlichen Querschnitt mit der Innenfläche nach aufsen, also verkehrt, anlegte, ein positiver Ausschlag erfolgen würde, beim Entfernen aber ein negativer. Bei dieser Anordnung mufsten nämlich die Kräfte der parelektronomischen Schicht, statt sich von denen des Muskels abzuziehen, vielmehr dazu hinzufügen.

Indessen gelangte ich nicht zum Ziele. Ich beobachtete zwar mehrmals die erwarteten Wirkungen, aber fast ebensooft blieben sie aus oder hatten die entgegengesetzte Richtung. Nicht besser glückte der Versuch in einer anderen, wie ich meinte einfacheren Form, die ich ihm noch ertheilte. Sie bestand darin dafs ich, wie oben S. 100, einen Gastroknemius im Multiplicatorkreise ausspannte, einen Lappen aus seinem sehnigen Ueberzuge ausschnitt, und die Wirkungen beobachtete, welche erfolgten, wenn ich den Lappen entweder möglichst genau in seine ursprüngliche Lage zurückbrachte, oder ihn umwendete, so dafs seine Aufsenseite nach innen zu liegen kam. Es ergab sich aber dabei der grofse Uebelstand, dafs der von dem Muskel im ausgedehnten Zustande getrennte Lappen seine Gestalt und Gröfse völlig veränderte, so dafs er nicht mehr auf die Wunde pafste.

Digitized by Google

Es wäre ungerecht, aus dem Mifslingen dieser schwierigen Versuche einen Schlufs ziehen zu wollen gegen unsere sonst so wohl bewährte Theorie des parelektronomischen Zustandes. Es lassen sich für jenes Mifslingen andere Gründe genug angeben. Der sehnige Ueberzug rollt sich ein; er bildet zugleich Nebenschliefsung; seine Kraft ist zu vergänglich; der künstliche Querschnitt daran besitzt nicht denselben Grad der Negativität mit dem des Muskels, theils weil er unter der Zurichtung mehr oder weniger gelitten hat als jener, theils weil die Ebene des Querschnittes nicht an beiden denselben Winkel mit der Richtung der Fasern macht. Alles dies vereinigt sich, um, bald in dem einen, bald in dem anderen Sinne, dem theoretisch vorausgesehenen Erfolge in den Weg zu treten.

Ich habe natürlich nicht unterlassen, mit dem Mikroskop nachzusehen, ob das an die Sehnenausbreitung stofsende Ende der Primitivmuskelbündel, mit dessen Anblick ich wohl vertraut bin, im parelektronomischen Zustande eine Veränderung darbieten würde.

Man stellt diese Untersuchung am besten an, indem man sich zuerst auf die Abth. I. S. 97 beschriebene Art einen künstlichen Längsschnitt verschafft, der die sehnige Ausbreitung der Länge nach hälftet. Von dem an die sehnige Ausbreitung stofsenden Rande eines solchen Längsschnittes ist es leicht, mittelst einer feinen Cooper'schen Scheere dünne Muskelscheiben abzuschneiden, die zwischen zwei künstlichen Längsschnitten eingeschlossen und an einem Theil ihres Umfanges, wie eine Brodschnitte mit der Rinde, mit dem sehnigen Ueberzug versehen sind. Kölliker hat bereits ein solches Präparat aus dem Gastroknemius des Menschen abgebildet.[1] Dafs die Querstreifen in seiner Zeichnung nicht senkrecht auf die Axe der Primitivbündel verlaufen, ist wohl nur ein Versehen des Holzschneiders. Auffallend aber ist mir, dafs Kölliker die Muskelbündel abgerundet spitz und einander stufenförmig überragend an der sehnigen Ausbreitung enden läfst. An den Muskeln des Frosches sehe ich sie, wie ich dies oben S. 58 bereits beschrieben habe und nachträglich in Fig. 144 Taf. V. aus dem Triceps Cuv. bei 180maliger Vergröfserung darstelle, vielmehr in einer Flucht scharf abgeschnitten. Ich gestehe indessen gern, dafs es mir nicht gelungen ist, mir von dem Verhalten beim Menschen ein klares Bild zu verschaffen, wo also Kölliker im Recht sein mag.

Was nun die hier gestellte Frage betrifft, so hat es mir bisher noch nicht gelingen wollen, an den Enden der Primitivmuskelbündel eine Veränderung, z. B. ihrer Querstreifung, wahrzunehmen, die ich

[1] Mikroskopische Anatomie u. s. w. Leipzig 1850. Bd. II. S. 219. Fig. 63 A.

Digitized by Google

hätte auf den parelektronomischen Zustand beziehen können. Jedenfalls könnte eine sich kundgebende Veränderung der Art nur eine gradweise sein, da, wie bereits erwähnt wurde (S. oben S. 81) und wie die nächste Folge darthun wird, die Muskeln sich stets und unter allen Umständen auf einer gewissen Stufe des parelektronomischen Zustandes befinden.

Auf diesem Wege wird sich eine nähere Kenntnifs der parelektronomischen Schicht wohl nicht leicht erwerben lassen. Leider ist uns aber auch fast jeder andere Weg hiezu verschlossen. Es fehlt nicht nur noch an jeder thatsächlichen Grundlage, um zu entscheiden zwischen den verschiedenen Möglichkeiten, die oben S. 91 hinsichtlich ihres Baues erkannt wurden, sondern es ist auch nicht abzusehen, wie eine solche Grundlage je solle erworben werden. Ein nicht unwichtiger Wink würde sich allenfalls der Thatsache entnehmen lassen, die aber selbst nicht hinreichend feststeht, dafs die negative Wirkung vor der Entwickelung die positive nach der Entwickelung an Gröfse übertreffen kann. Dies würde, wie schon oben S. 103 bemerkt wurde, dahin zu deuten sein, dafs die parelektronomische Schicht in solchem Falle aus einem mehrfachen Ueberzuge dipolarer Molekeln besteht, die sämmtlich positive Pole nach Aufsen kehren. Ein anderer Wink würde aus der verschiedenen Zeit folgen, die zwei Muskeln, auf verschiedenen Stufen des parelektronomischen Zustandes, vielleicht brauchen, um durch dieselbe Flüssigkeit bis zum Grenzwerthe der Entwickelung gebracht zu werden, den diese Flüssigkeit herbeizuführen vermag. Fände man, dafs der mehr parelektronomische Muskel hiezu mehr Zeit braucht als der minder parelektronomische, so würde man einigermafsen berechtigt sein zu dem Schlusse, dafs die parelektronomische Schicht, je höher sie entwickelt ist, um so dicker wird. Denn nur auf eine gröfsere Tiefe, in welche die entwickelnde Flüssigkeit eindringen mufs, liefse sich die Verzögerung des Eintretens der Grenzwirkung deuten.

Ich habe dies folgendermafsen in's Werk zu setzen versucht. Ich nahm zwei Gastroknemien, von denen der eine stark negativ, der andere noch ziemlich kräftig positiv wirkte. Diese Muskeln tauchte ich gleiche Zeiten hindurch in Kochsalzlösung, wusch sie und trocknete sie in übereinstimmender Weise, prüfte sie auf ihren Strom, wiederholte dieselbe Operation von Anfang an noch einmal und sah zu, ob vielleicht durch das zweite Soolbad der mehr parelektronomische Gastroknemius noch an positivem Strome gewonnen hätte, während der minder parelektronomische bereits durch das erste Soolbad seinen vollen Strom, soweit die Kochsalzlösung ihn zu entwickeln vermag, erhalten haben sollte. Einmal habe ich diesen Erfolg wirklich beobachtet. Aus

Digitized by Google

Gründen aber, die sich später ergeben werden, habe ich diesen Versuch, dessen Schwierigkeiten ohnedies sehr grofs sind, noch nicht oft genug wiederholen können, um bereits ein bestimmtes Urtheil zu fällen.

(IV) Schlufsbemerkungen zur Theorie des parelektronomischen Zustandes der Muskeln.

Schwerlich möchte es endlich jetzt noch nöthig sein, zurückzukommen auf die Widerlegung jener Ansicht vom parelektronomischen Zustande, die wir in der vorigen Nummer (9) bekämpften, und wonach auch in diesem Zustande die elektromotorische Beschaffenheit des künstlichen Querschnittes stets gleichen Schritt halten würde mit der des natürlichen. Indessen ist das Vorbestehen der Negativität des künstlichen Querschnittes im Muskel ein Punkt von zu grofsem Belang, um zu seiner Feststellung nicht auch das Ueberflüssige zu thun.

A. a. O. wurde gezeigt, dafs weder bei der Prüfung, noch bei der Herstellung des künstlichen Querschnittes dieser erweisbar von irgend einem entwickelnden Einflufs betroffen werde, dafs es folglich gar keinen Grund gebe zu der Annahme, dafs er nicht bereits im unversehrten Muskelinneren seine volle Negativität besitze. Schliefslich wurde hingewiesen auf die Unmöglichkeit sich bei dieser Annahme eine irgend läfsliche Vorstellung zurechtzulegen von den Erscheinungen des parelektronomischen Zustandes, im Gegensatze zu der Leichtigkeit und Einfachheit, womit dies von Statten ginge bei der entgegenstehenden Ansicht, welche die Negativität des künstlichen Querschnittes als im Muskelinneren vorgebildet annimmt. Ueber diese Einfachheit und Leichtigkeit zu urtheilen ist der Leser jetzt in Stand gesetzt. Es würde übrig bleiben, ihm ein Bild von jenen Schwierigkeiten zu entwerfen.

Setzen wir also für einen Augenblick eine stete Uebereinstimmung im elektromotorischen Verhalten des künstlichen und des natürlichen Querschnittes auch im parelektronomischen Zustande wieder voraus, wie wir dies oben S. 74. 75 bereits thaten. Da stark erkältete Muskeln negativ wirken, so ist es klar, dafs man bei dieser Vorstellung so wenig als bei irgend einer anderen, die man noch erfinden wollte, eine Veränderung der elektromotorischen Kräfte der Molekeln im parelektronomischen Zustande, sondern nur eine verschiedene Anordnung derselben voraussetzen kann (Vergl. oben S. 87). Man ist also geradesweges gezwungen zu der Annahme, auf die sich, wie so eben (S. 107) erinnert wurde, der oben S. 38 ausgesprochene Vorbehalt bezog. An dem im parelektronomisch negativ wirksamen Muskel müfste sich die negativ peripolare Anordnung auf die ganze Masse des Mulkels erstrecken. Am unwirksamen Muskel fände sich die positiv und die negativ peripolare

Digitized by Google

Anordnung in gleichem Maſse vertheilt vor, so daſs jeder künstliche Querschnitt gleichviel positive Pole negativ peripolarer, und negative Pole positiv peripolarer Gruppen enthielte, und so fort für die übrigen schwächer negativ oder bereits positiv wirksamen Zustände des Muskels.

Um nun den Entwickelungsvorgang des Stromes zu erklären, müſste man sich vorstellen, daſs eine jede Verletzung des natürlichen Querschnittes, sei sie mechanisch, chemisch oder kaustisch, die unregelmäſsige Anordnung der elektromotorischen Muskelmolekeln in eine regelmäſsig wirkende zu verwandeln vermöge. Die Verletzung müſste also entweder durch die ganze Masse des Muskels hindurch die positiv peripolare Anordnung zuwege bringen, oder, da sich dies nicht wohl verträgt mit der von uns nachgewiesenen Unabhängigkeit der Entwickelungszustände beider Querschnitte von einander, es müſste die Verletzung die dipolaren Molekeln in ihrer Nachbarschaft zwingen, in ein- oder mehrfacher Schicht negative Pole nach Auſsen zu kehren oder zu einer mehrfachen Schicht positiv peripolarer Gruppen sich zu vereinigen.

Man wird gestehen, daſs dies viel verlangt ist, und ich glaube, daſs es eben nur der Schilderung dieser Sachlage bedarf, um die Wage für die andere Theorie nochmals und ohne weitere Anrufung ausschlagen zu machen. Sollte es ja einen Punkt geben, woran sich die Vorstellung von der Nothwendigkeit einer Stromentwickelung auch am künstlichen Querschnitt noch klammern könnte, und über den man wünschen dürfte, noch klarere Auskunft zu erhalten, so wäre es vielleicht jener leichte positive Ausschlag, der sich kundgiebt, wenn querdurchschnittene Muskeln oder Nerven mit Punkten des Längsschnittes aufgelegt sind und der künstliche Querschnitt mit einer nichtleitenden starkentwickelnden Flüssigkeit benetzt wird. Oben S. 80. 81 waren wir hinsichtlich dieses Umstandes dabei stehen geblieben, daſs er möglicherweise herrühre von der Verkürzung des Abstandes zwischen dem Endquerschnitt und dem nächsten Ableitungspunkte am Längsschnitt, indem durch das Anätzen eine mehr oder minder dicke Schicht am Querschnitt auſser Thätigkeit gesetzt werde. Jetzt aber läſst sich vielleicht, und zwar wiederum auf Grund unserer Theorie des parelektronomischen Zustandes, eine weit bessere Erklärung nicht an die Stelle jener, sondern ihr zur Seite setzen.

Man erinnert sich von vielen früheren Gelegenheiten her der Wahrnehmung, daſs der Strom des künstlichen Querschnittes der Muskeln und Nerven in den ersten Augenblicken nach der Herstellung in raschem Sinken begriffen ist, und sich sofort wieder zur früheren Stärke erhebt, wenn der Querschnitt angefrischt wird (Vergl. oben Abth. I. S. 557).

Digitized by Google

Oben Bd. I. S. 714 hatten wir dies Wogen der Kraft des künstlichen Querschnittes vorläufig so erklärt, dafs eine Schicht desselben durch Absterben schnell ihre elektromotorischen Eigenschaften einbüfse, und nun die Wirksamkeit des thierischen Erregers erstlich als eingeschalteter Widerstand, zweitens aber dadurch beeinträchtige, dafs sie seine wirksame Ausdehnung verkürze. Oben Abth. I. S. 556. 557 hatten wir sodann die Erscheinung schon anders aufzufassen vermocht, in einer Art, welche der jetzt darzulegenden bereits ganz nahe verwandt ist. Wir deuteten nämlich an, dafs die äufserste Schicht dipolarer Molekeln, welche, mit der darunter gelegenen in positiv peripolarer Verbindung begriffen, negative Pole nach Aufsen kehrt, vielleicht theilweise unwirksam werde in Folge der verderblichen Einflüsse der Herstellung und Prüfung des Querschnittes. Dies würde natürlich eine Schwächung des positiven Stromes nach sich ziehen, der durch Anfrischen des Querschnittes abgeholfen werden könnte.

Mit demselben Erfolge und mehr Wahrscheinlichkeit kann man sich die Schwächung des positiven Stromes jedoch bedingt vorstellen dadurch, dafs in Folge der Mifshandlung der Muskel- oder Nervensubstanz, welche an den künstlichen Querschnitt stöfst, die dipolaren Molekeln zum Theil die negativ peripolare Anordnung angenommen haben, wie wir dies an Nerven und Muskeln ja noch sonst vielfach beobachtet haben. Die Erklärung der Hebung des Stromes durch Anfrischen des künstlichen Querschnittes bleibt dabei die nämliche wie vorher.

Man sieht nun aber, dafs der Vorgang, den wir hier voraussetzen, physikalisch ganz der nämliche ist, als der an einem parelektronomischen Muskel, an dem der natürliche Querschnitt, der Sitz gesetzwidrig angeordneter Kräfte, auf mechanischem Wege entfernt wird. Der künstliche Querschnitt überzieht sich in Folge der Mifshandlung mit einer Art von parelektronomischer Schicht, die seinen Strom durch ihr Widerspiel schwächt. Wir schälen sie ab, und auf Augenblicke, bis zur Neubildung der künstlichen parelektronomischen Schicht, erlangt der Strom wieder seine frühere Stärke, entsprechend dem Grenzwerth der positiven Wirksamkeit des Muskels oder Nerven.

Es ist aber klar, dafs wir, wenn diese Lehre richtig ist, eine Hebung des Stromes auch werden bewirken können dadurch, dafs wir den künstlichen Querschnitt anätzen, gerade wie wir den Strom des natürlichen Querschnittes zur Entwickelung brachten durch Benetzen des sehnigen Ueberzuges mit einem Aetzmittel. So ist also die positive Wirkung, die man beim Anätzen des künstlichen Querschnittes eines mit Punkten des Längsschnittes aufliegenden Muskels oder Nerven erhält, leicht und ungezwungen zu erklären. Die gröfsere Wirksamkeit

Digitized by Google

der salpetersauren Silberoxydlösung in Vergleich zum Kreosot bei diesem Versuch (S. oben S. 80) stimmt völlig auch mit dieser Erklärung. Es ist demnach im Versuch wirklich eine Entwickelungsfähigkeit der Negativität des künstlichen Querschnittes vorhanden, aber nicht in dem Sinne als sei diese Negativität nicht im Inneren des Muskels vorgebildet; sondern die Entwickelungsfähigkeit selber dieser Negativität ist nicht darin vorgebildet, sie ist es, die erst der künstlichen Entwickelung in jenem Sinne bedarf.

Beiläufig gesagt, gelingt denn auch die Hebung des Stromes des künstlichen Querschnittes der Muskeln mit Hülfe der Verbrennung des Querschnittes durch eine heifse Scherbe oder einen Tropfen heifsen Oeles, ebenso gut wie durch chemisches Anätzen oder mechanisches Anfrischen (Vergl. oben S. 104). Die Wirksamkeit aber sowohl des Anätzens als der Verbrennung steht auch hier immer der des mechanischen Anfrischens nach, gerade wie das Anätzen und Verbrennen des natürlichen Querschnittes den Strom nicht so hoch zu entwickeln vermag als die mechanische Darstellung eines künstlichen Querschnittes, wodurch überall der Grenzwerth der positiven Wirksamkeit herbeigeführt wird.

An den Nerven habe ich diesen Versuch zwar auch angestellt, und mit dem nämlichen Erfolge, nämlich eines positiven Ausschlages im Augenblicke des Benetzens des künstlichen Querschnittes mit einem Tropfen heifsen Oeles. Allein ich wage nicht, diesen Erfolg für gleichbedeutend auszugeben mit dem unter denselben Umständen am Muskel beobachteten. Denn der Nerv schrumpft im Augenblick der Berührung mit dem Oel so heftig zusammen, dafs sein Querschnitt sich dabei bedeutend dem nächsten Ableitungspunkte am Längsschnitt nähert, was gleichfalls eine positive Wirkung nach sich ziehen mufs. Bei Anwendung der heifsen Scherbe vollends ist diese Wirkung so bedeutend, dafs der Versuch unausführbar gemacht wird, indem der Nerv sich vom Bausch abhebt und aufserdem noch an der Scherbe anklebt. Da aber die Entfernung des künstlichen Querschnittes von dem nächsten Ableitungspunkte bei diesem Versuch so gering wie möglich sein mufs, so geht es nicht an, den Nerven, wie wir sonst zu thun pflegen (Vergl. Abth. I. S. 53. Taf. III. Fig. 110 A. Taf. IV. Fig. 129. 130), zwischen der von der Hitze betroffenen Stelle und dem Bausch auf einem Korksteg mittelst Insectennadeln festzustecken.

Somit hat sich also unsere Theorie der elektromotorischen Erscheinungen der Muskeln abermals siegreich bewährt auch gegenüber diesem neuen, beim ersten Anblick so unüberwindlich räthselhaften Complex von Erscheinungen, dem parelektronomischen Zustande und der Stromentwickelung darin. Es gehen aber hieraus, für jene Theorie

Digitized by Google

selber, nunmehr einige Folgerungen hervor, die wir nicht unbemerkt lassen dürfen.

Diese Folgerungen laufen auf nichts geringeres hinaus, als darauf, die Anordnung der elektrischen Kräfte im Muskel etwas näher zu bestimmen, als es bisher geschehen konnte. Sie knüpfen an die Unmöglichkeit an, in der wir uns oben S. 91. 92 befunden haben, die Erscheinungen des parelektronomischen Zustandes nachzuahmen mit Hülfe des im ersten Bande schliefslich festgestellten Muskelschema's nach der Molecularhypothese. Dies Unternehmen scheiterte daran, dafs, bei Umkehr aller Zeichen in der den Querschnitt begrenzenden Schicht peripolarer Gruppen, der Querschnitt mit dem Längsschnitt gleichartig wurde. Es konnte folglich niemals, wie an den stark parelektronomischen Muskeln, eine negative Wirkung von dem Schema erzielt werden, sondern höchstens wurde die Vorrichtung unwirksam. Der Grund dieses Verhaltens ist der, dafs der Längs- und Querschnitt an unserem Schema, bis auf die Verwechselung aller Zeichen, einerlei Bau darbieten. Der Längsschnitt kehrt eine überwiegende Zink-, der Querschnitt eine im gleichen Mafs überwiegende Kupferfläche in's Freie. Der erstere besitzt wirklich positive, der Querschnitt negative Spannung.

In den Muskeln kann die Anordnung, wie man jetzt erkennt, nicht dieselbe sein. Sie mufs der Art sein, dafs der Querschnitt, durch eine blofse Veränderung seiner Oberfläche, ebenso stark positiv erscheinen könne gegen den Längsschnitt, als er vorher negativ war. Soll folglich durch eine blofse Verwechselung der Zeichen, ohne sonstige Veränderung des Baues, der Querschnitt seine elektrische Beschaffenheit gegen den Längsschnitt umkehren können, so mufs der Längsschnitt ganz neutral sein, und der elektrische Gegensatz zwischen Längs- und Querschnitt dadurch zu Stande kommen, dafs der Querschnitt negative oder positive Spannung besitzt.

Wir sind folglich gezwungen, das Bild, welches wir uns im ersten Bande von der Anordnung der elektrischen Kräfte im Muskel gemacht hatten, etwas zu verändern. Das damals zu Stande gebrachte Muskelschema nach der Molecularhypothese ist nicht länger stichhaltig. Der S. 671. 672. 680 daselbst aufgestellte Grundsatz: dafs die elektromotorischen Muskelelemente sonst ganz beliebig beschaffen sein könnten, wofern sie nur zwei negative Polar- und eine positive Aequatorialzone besitzen, dieser Grundsatz mufs eine Einschränkung erleiden. Die Elemente müssen vielmehr so gebaut sein, dafs sie am Längsschnitt eine im Ganzen genommen neutrale, am Querschnitt hingegen eine mit beliebiger elektrischer Spannung ausgerüstete Begrenzung bei ihrer Zusammenfügung darstellen.

Digitized by Google

Die Folge wird, wie schon mehrmals angedeutet wurde, keinen Zweifel darüber lassen, dafs die peripolaren elektromotorischen Muskelmolekeln, gleich denen der Nerven, in dipolare Molekeln zerfällbar sind (Vergl. oben S. 88). Versucht man nun aber dipolare Molekeln peripolar zusammenzufügen dergestalt, dafs sie der eben hingestellten Bedingung Genüge leisten, so wird man unausweichlich geführt auf die Fig. 107 A. Taf. III. dieses Bandes abgebildete Lagerungsweise. Dieser Lagerungsweise haben wir oben Abth. I. S. 323, als es sich zuerst darum handelte, peripolare Gruppen aus dipolaren Molekeln aufzubauen, nur deshalb den Vorzug geschenkt, weil sie die einfachste ist, die sich ersinnen läfst. Sonst anerkannten wir daselbst noch die Möglichkeit unendlich vieler verschiedener Lagerungsweisen der dipolaren Molekeln im Nerven, die alle in gleicher Art dem Grundsatze der peripolaren Anordnung genügten, einen positiven Aequator und zwei negative Polarzonen darzubieten.

Jetzt zeigt es sich aber, dafs jene Art und Weise der Lagerung nicht allein den Vorzug besitzt, die einfachste zu sein, wie aus dipolaren Molekeln peripolare Gruppen entstehen, sondern dafs sich auch wenigstens für die Muskeln bestimmte Gründe angeben lassen, weshalb diese, und keine andere Lagerungsweise der Molekeln in Wirklichkeit stattfinden könne. Somit stellen wir also das oben S. 93 beschriebene, Fig. 143. Taf. V. abgebildete Muskelschema nunmehr als das einzig gültige hin, welches sich denn auch im Stande gezeigt hat, alle Erscheinungen des parelektronomischen Zustandes mit soviel Treue wiederzugeben, als die Natur der Dinge eben gestattete.

11. Von den Umständen, welche von Einfluſs sind auf die Bildung und Rückbildung der parelektronomischen Schicht.

Ueber das Wesen des parelektronomischen Zustandes sind wir nunmehr in's Reine gekommen. Wir haben in Erfahrung gebracht, dafs die Erscheinungen dieses Zustandes beruhen auf der Gegenwart einer Schicht gesetzwidrig angeordneter elektromotorischer Molekeln am natürlichen Querschnitt, welche, indem sie positive Pole in gröfserer oder geringerer Anzahl nach Aufsen kehren, den negativen Polen der darunter gelegenen positiv peripolaren Gruppen bald stärker, bald schwächer entgegenwirken. Durch Zerstörung dieser Schicht auf irgend welche Art sind wir im Stande, den gewohnten Gegensatz zwischen Längs- und Querschnitt rein hervortreten zu lassen.

Jetzt würde es an der Zeit sein, den Bedingungen etwas näher nachzuforschen, welche der Bildung und Rückbildung der parelektro-

Digitized by Google

nomischen Schicht vorstehen. Dies wird nämlich der Weg sein, der, wenn es uns gelingt darauf vorzudringen, uns über die physiologische Bedeutung des parelektronomischen Zustandes, wonach wir jetzt zu streben haben, am ehsten Aufschlufs verschaffen mufs. Ich habe indefs in dieser Untersuchung erst sehr geringe Fortschritte gemacht, theils, weil ich noch nicht Zeit gefunden habe, mich zusammenhängend damit zu beschäftigen, theils wegen der unerwarteten Schwierigkeiten, auf die ich dabei gestofsen bin. Abgesehen von einer wichtigen Grundthatsache, die ich sogleich darlegen werde, habe ich somit hier nur wenig mehr mitzutheilen als die Fragen selber, die zu beantworten sein würden, und die Erörterung der dabei anzuwendenden Methoden.

(1) Alle Muskeln aller Thiere befinden sich stets auf einer mehr oder weniger hohen Stufe des parelektronomischen Zustandes.

Die Vorstellung, die wir uns bis jetzt von dem parelektronomischen Zustande gemacht haben, ist die, dafs es ein abnormer, durch die Kälte herbeigeführter Zustand der Muskeln sei. Diese Vorstellung ist falsch. Zwar nicht in sofern, als es auch andere Einflüsse giebt, welche jenen Zustand zur Folge haben; denn, wenn es wirklich dergleichen giebt, was uns nachzuweisen nicht gelingen wird, so stehen sie der Kälte an Wirksamkeit wenigstens unvergleichlich nach. Jene Vorstellung war aber falsch in sofern, als, wie ich jetzt zeigen werde, der parelektronomische Zustand gar kein besonderer, abnormer Zustand der Muskeln ist, vielmehr nur in der Steigerung eines Verhaltens besteht, welches allen Muskeln aller Thiere fortwährend zukommt. In der That, alle Muskeln aller Thiere befinden sich fortwährend auf einer mehr oder weniger hohen Stufe des parelektronomischen Zustandes, ohne dafs irgend eine in die Sinne fallende Ursach auf sie eingewirkt hätte.

Was zuerst die Muskeln des Frosches betrifft, so hat man, auch ohne irgend künstlichere Versuchsweisen zu Hülfe zu nehmen, häufig Gelegenheit zu Beobachtungen, in denen sich dies ausspricht. Also z. B. die gröfsere Stärke des vom künstlichen Querschnitt gewonnenen Muskelstromes im Vergleich zu dem vom natürlichen Querschnitt gewonnenen ist oft augenfällig. Auch kommt es vor, wenn man Gastroknemien nicht erkälteter Frösche, die bei mittlerer Temperatur gefangen und aufbewahrt sind, mit natürlichem Längs- und Querschnitt auf die Bäusche bringt, dafs sich die Nadel ungemein langsam vom Nullpunkt entfernt, aber dann schneller und schneller der Hemmung zueilt. Eine Beschleunigung der Bewegung der Nadel bis zu dem Punkte des zeitigen Gleichgewichtes zwischen Strom- und Erdkraft mufs freilich auch bei beständigem, ja bei abnehmendem Strome stattfinden. Allein die hier

Digitized by Google

beschriebene Art der Beschleunigung erfolgt doch nach einem zu abweichenden Gesetze, um von einem geübten Auge mit jener natürlichen verwechselt zu werden. Ohnehin kommt sie niemals vor, wenn die Muskeln, statt mit natürlichem, mit künstlichem Querschnitt oder mit sehnigen Enden aufgelegt worden. Sie kann demnach ihren Grund kaum in etwas anderem haben, als in einem Anschwellen des Stromes in den ersten Augenblicken nach dem Auflegen, welches seinerseits von nichts herrührt, als von dem Angriff des natürlichen Querschnittes durch die Flüssigkeit der feuchten Multiplicatorenden, Eiweifs oder Kochsalzlösung. Endlich wenn man einmal die Empfindlichkeit des Multiplicators durch Anwendung nur der halben Länge und Vorlegen einer Nebenschliefsung hinlänglich mäfsigt, damit die Ausschläge nicht mehr in zu hohe Breiten der Theilung reichen, geschweige die Nadel an die Hemmung führen, so ist es ganz gewöhnlich, dafs man mit natürlichem Längs- und Querschnitt aufgelegte Gastroknemien bei der zweiten, dritten ... Prüfung einen stärkeren Ausschlag geben sieht als bei der ersten, obschon die Frösche weder der Kälte noch sonst irgend welchem besonderen Einfluſs ausgesetzt waren.

Wir sind aber, durch die Ergebnisse der vorigen Untersuchungen, in Stand gesetzt, diesen Beobachtungen eine viel sicherere Gestalt zu verleihen. Dazu ist nur nöthig, einen Muskel, der auf parelektronomischen Zustand geprüft werden soll, mit sehnigen Enden aufzulegen, die Nadel in beständiger Ablenkung zur Ruhe kommen zu lassen, und den natürlichen Querschnitt des Muskels alsdann mit einer nicht leitenden kräftig entwickelnden Flüssigkeit, am besten Kreosot, zu benetzen. Findet kein positiver Ausschlag statt, so war kein parelektronomischer Zustand vorhanden; im anderen Falle war dergleichen da (Vergl. oben S. 77).

Ich habe, seitdem ich im Besitz dieses Verfahrens bin, die Gastroknemien unzähliger Frösche unter den günstigsten Umständen in dieser Weise untersucht. Um ganz sicher zu sein, dafs die Frösche von dem Augenblick des Fanges an bis zu dem der Prüfung durchaus keinem besonderen Einfluſs ausgesetzt gewesen seien, begab ich mich selber einmal im Sommer oberhalb der Stadt an die Spree, liefs die Frösche vor meinen Augen fangen, was durch Greifen mit den Händen geschah, trug sie von Stralow behutsam bis zum Stadtthor und fuhr damit nach meiner Wohnung, wo ihre Gastroknemien im Mittel kaum zwei Stunden nach dem Fang den Kreis meines Multiplicators schlossen. Die Lufttemperatur im Schatten betrug zur Zeit des Fanges etwa 23° C., die der Spree 21°. Es konnte also hier von Erkältung nicht die Rede sein. Nichtsdestoweniger erhielt ich beim Benetzen des natürlichen Querschnit-

Digitized by Google

tes mit Kreosot, nachdem die Nadel zur Ruhe gekommen war, stets einen mehr oder minder heftigen positiven Ausschlag, zum unwidersprechlichen Beweise, dafs parelektronomischer Zustand in gröfserem oder geringerem Mafse vorhanden war.

Man könnte sich nun mit Befremden der Angabe Matteucci's erinnern, wonach der Froschstrom im Frühling und Sommer an kräftigen Fröschen den Muskelstrom an Stärke übertreffen, und erst die Kälte letzterem das Uebergewicht verschaffen soll (S. oben S. 30). Indessen eine nähere Betrachtung der Versuche, worauf diese Behauptung sich gründet, läfst sie als ebenso unzuverlässig erkennen, als die meisten anderen Aussagen ihres Urhebers.

Bereits im Jahr 1842 schneidet Matteucci Froschbeine im Oberschenkel quer durch, und setzt daraus Säulen zusammen, indem er den Oberschenkelstumpf des einen Beines an die Fufswurzel des nächstfolgenden stofsen läfst. In solchen Säulen wirken sich, seiner damaligen Vorstellung nach, der allgemeine, hier absteigende Muskelstrom (courant musculaire) und der im Unterschenkel entspringende aufsteigende Froschstrom (courant propre) entgegen. Der Strom ist aufsteigend, folglich sei der Froschstrom stärker als der Muskelstrom.[1] Cima bestätigt dies Ergebnifs und sagt, dafs es abhänge »dal contatto più perfetto che esiste »tra il parenchima del muscolo e il tendine, che tra la superficie interna »scoperta del muscolo e i conduttori liquidi o solidi di cui ci serviamo »per istabilire il circuito.«[2] Cima übersieht dabei, dafs in einem Kreise, in dem elektromotorische Kräfte einander entgegenwirken, das Zeichen der Resultante unabhängig vom Widerstande ist, weil dieser sämmtliche Componenten in gleichem Mafse schwächt (Vergl. oben Bd. I. S. 243. 244).

Obschon nun dergestalt Matteucci und Cima die gröfsere Stärke des Froschstromes im Vergleich zum Muskelstrom unter gewissen Umständen behaupten, berichten sowohl Cima als Matteucci[3] zugleich, dafs der aufsteigende Strom von Unterschenkeln sehr an Stärke zunehme, wenn man den Gastroknemien die Ausbreitung der Achillessehne abschäle. Matteucci legt diese Thatsache dahin aus, dafs alsdann der Froschstrom und der allgemeine Muskelstrom sich in den Unterschenkeln summiren (S. oben Bd. I. S. 529). Cima sieht wenigstens die Thorheit

[1] S. oben Bd. I. S. 529. 530. 531 (6). — Traité etc. p. 116. Pl. II. Fig. 22.* In der Figur sind sich die beiden Pfeile, die die Richtung des Stromes angeben, entgegen gerichtet. Dem Texte nach ist der abwärts gerichtete Pfeil umzukehren.

[2] Saggio storico-critico ec. Ivi, p. 509. 551.*

[3] Archives de l'Électricité. 1842. t. II. p. 431. 440;* — Annales de Chimie et de Physique. Novembre 1842. 3. Série. t. VI. p. 318. 324;* — Traité etc. p. 105. 108.*

Digitized by Google

dieser Vorstellungsweise ein. Er hält die Ströme, die man vor und nach dem Abschälen der Sehne erhält, für einerlei. Um aber die Verstärkung durch das Abschälen zu erklären, nimmt Cima diesmal seine Zuflucht »alla più perfetta communicazione che può stabilirsi tra i di»versi elementi della pila, allorchè i muscoli suddetti sono privi della »loro parte tendinosa.« [1] Es fällt ihm dabei nicht auf, dafs er anderwärts (S. oben) gerade die entgegengesetzte Thatsache behauptet und sie mit Hülfe gerade der entgegengesetzten Annahme erklärt hat.

Bis zum Jahr 1845 hat Matteucci auf seiner Aussage beharrt, dafs der Froschstrom den Muskelstrom an Stärke übertreffe (S. oben S. 30). In seinen *Leçons sur les Phénomènes physiques des Corps vivants* (Paris 1847) aber heifst es p. 271* plötzlich: »Il est désormais »hors de doute, d'après mes dernières expériences, qu'à nombre égal »d'éléments, pris sur les mêmes grenouilles, le courant musculaire est »plus énergique que le courant propre.... Ce n'est qu'avec des gre»nouilles très-vivaces, en coupant la cuisse très-haut, et en ne laissant »qu'une petite partie de la superficie de l'intérieur du muscle à décou»vert, que l'on ne trouve aucun signe de courant différentiel, ou bien »qu'il existe dans le sens du courant propre. Tel fut le fait dont je »m'aperçus dans mes premières expériences, et que je m'explique main»tenant d'une manière plus satisfaisante après mes derniers travaux, en »réfléchissant qu'en laissant la cuisse presque entière, on a deux éléments, »c'est-à-dire les muscles de la jambe et ceux de la cuisse qui donnent »un courant dirigé dans le même sens, tandis que l'élément musculaire »qui fournit celui en sens contraire est unique.«

Unter diesen Umständen versteht es sich von selbst, dafs die frühere Behauptung Matteucci's und Cima's, als übertreffe der Froschstrom an Stärke den Muskelstrom, oder, in unsere Sprache übersetzt, der natürliche Querschnitt an Negativität den künstlichen Querschnitt, im Grunde keine Berücksichtigung mehr verdienen würde, und dafs, wenn wir auf Matteucci's und Cima's Angaben hier überhaupt eingehen wollen, wir uns lediglich zu halten hätten an den Versuch, in welchem der Strom einer Säule aus Unterschenkeln dadurch verstärkt wurde, dafs man die Ausbreitung der Achillessehne abschälte. Dieser Versuch ist sichtlich einerlei mit dem von uns oben S. 100 an einem einzelnen Gastroknemius angestellten, und es erklärt sich die wahrgenommene Verstärkung eben nur unter der Voraussetzung, dafs die Muskeln sich auf einer mehr oder weniger hohen Stufe des parelektronomischen Zustandes befanden. Aber es hält sogar nicht schwer, Matteucci und Cima zu Hülfe zu kommen,

[1] Ivi, p. 471. 503.*

Digitized by Google

und sie aus dem Widerspruch zu befreien, den Matteucci wohl fühlt, jedoch ihn nicht genügend aufzuklären vermag.

Legt man nämlich einen querdurchschnittenen Gastroknemius einerseits mit dem künstlichen Querschnitt, andererseits mit der Ausbreitung der Achillessehne auf die mit Eiweifshäutchen bekleideten Bäusche auf, so erhält man stets zuerst einen Ausschlag in absteigender Richtung. Die Negativität des künstlichen Querschnittes überwiegt also die des natürlichen, was als der normale Zustand zu betrachten ist. Nach längerer oder kürzerer Zeit aber, je nachdem der Muskel mehr oder weniger parelektronomisch ist, sieht man die Nadel durch den Nullpunkt zurückkehren, der Strom wird aufsteigend, und der natürliche Querschnitt hat die Oberhand erhalten. Natürlich rührt dies nur zum Theil davon her, dafs durch das Eiweifs des Eiweifshäutchens die Negativität des künstlichen Querschnittes erhöht worden ist; nicht etwa weil Eiweifs nur schwach entwickelt und weil der natürliche Querschnitt schräg, statt, wie der künstliche, senkrecht gegen die Richtung der Fasern angelegt ist, sondern wesentlich, weil die Entwickelung der Negativität des natürlichen Querschnittes durch die ätzenden Flüssigkeiten ja nur darauf beruht, dafs ein künstlicher Querschnitt chemisch hergestellt wird, folglich die Negativität des künstlichen Querschnittes auch für die des natürlichen die nicht zu überschreitende Grenze abgiebt (Vergl. oben S. 100 ff.). Das Unterliegen des künstlichen Querschnittes unter den natürlichen rührt also vielmehr von der stets von selbst eintretenden Schwächung des ersteren her, die wir jetzt durch Bildung einer künstlichen parelektronomischen Schicht erklären (S. oben S. 114). Der thatsächliche Beweis liegt darin, dafs sobald man den künstlichen Querschnitt anfrischt, er wieder auf einige Zeit die Oberhand gewinnt, um sie bald darauf wieder dem natürlichen Querschnitt zu überlassen. Die Wirksamkeit des mechanisch angelegten künstlichen Querschnittes in Berührung mit Hühnereiweifs sinkt also schneller als die des durch dasselbe Eiweifs angegriffenen natürlichen Querschnittes.

Wie sich dies Verhältnifs stelle bei Entwickelung des Stromes des natürlichen Querschnittes mit anderen, z. B. den stark ätzenden Flüssigkeiten, bin ich noch nicht im Stande zu sagen. Man sieht aber, dafs die hier dargelegten Thatsachen wohl geeignet sind, zu erklären, wie Matteucci und Cima haben können verleitet werden zu ihrer Behauptung, dafs der Froschstrom den Muskelstrom an Stärke übertreffe. Während des Aufbaues der Säule aus Froschbeinen mit halbdurchschnittenen Oberschenkeln hatte der künstliche Querschnitt reichlich die Zeit, dermafsen an Wirksamkeit zu verlieren, dafs der ihm entgegenwirkende natürliche Querschnitt ihn an Negativität übertraf; um so mehr, als es

Digitized by Google

diesem in Berührung mit künstlichem Querschnitte nicht an einer Ursache gebrach, die seinen Strom, wenn er etwa darniederlag, zu heben vermochte (S. oben S. 84).

Denselben Erfolg, als an den Froschmuskeln, habe ich an denen des Hechtes wahrgenommen, freilich minder rein in doppelter Beziehung, erstlich insofern, als ich nicht verbürgen kann, dafs nicht die Thiere, bis sie in meine Hand gelangten, Einflüssen ausgesetzt gewesen seien, die den parelektronomischen Zustand herbeiführen können; für's zweite auch wegen der Schwierigkeit, an dem Muskelkörper der Fische zu diesen Versuchen geeignete, mit freien Sehnenspiegeln bekleidete natürliche Querschnitte darzustellen. Ich erreichte zuletzt meinen Zweck an gewissen Muskeln, die sich mit längeren, bandartigen Sehnen an die Hinterhauptsschuppe heften. Natürlich war am anderen Ende des Muskels die Bloslegung künstlichen Querschnittes nicht zu vermeiden; die Muskeln befanden sich also in der Verfassung wie oben S. 106 die quer durchschnittenen Köpfe des Semitendinosus oder der ebenso behandelte Biceps Cuv. vom Oberschenkel des Frosches. Der Strom des künstlichen Querschnittes hielt die Nadel in beständiger Ablenkung. Wurde nun der kleine Sehnenspiegel am anderen Ende des Muskels mit Kreosot bestrichen, so erfolgte stets ein gröfserer oder geringerer Ausschlag in seinem Sinne, zum Beweise, dafs parelektronomischer Zustand vorhanden war.

Viel entscheidender aber, als durch die dargelegten Thatsachen, läfst sich durch Versuche an den Muskeln warmblütiger Thiere die Meinung widerlegen, in der wir bisher verharrten, als sei der parelektronomische Zustand eine alleinige, besondere Wirkung der Kälte. Denn die Muskeln der warmblütigen Thiere sind sicherer, als es für die der kaltblütigen Thiere je auszumachen ist, einer beständig erhöhten Temperatur ausgesetzt gewesen. Ich bediente mich zu diesen Versuchen des Soleus des Kaninchens und des Gastroknemius externus der Taube. Diese Muskeln haben ohngefähr den nämlichen Bau wie die oben S. 106 beschriebenen Muskeln aus dem Oberschenkel des Frosches. Nur dafs der senkrechte Querschnitt des Cylinders mit schrägen Grundflächen, dem die Muskeln gleichen, diesmal keinen Kreis, sondern eine langgestreckte Ellipse vorstellt, deren grofser Axe die schrägen Grundflächen parallel liegen, welche auch deshalb hier Ellipsen von geringerer Excentricität gleichen. Die Muskeln bieten also an beiden Enden ausgedehnte natürliche Querschnitte, mit Sehnenspiegeln überzogen, dar, deren wir uns zum Theil auch schon früher bedient haben, um die schwachen Ströme des Querschnittes am natürlichen Querschnitt nachzuweisen (Vergl. oben Bd. I. S. 509. Taf. IV. Fig. 39).

Digitized by Google

Legt man einen solchen Muskel so warm wie möglich mit sehnigen Enden auf, wobei die Nadel stets in Schwankungen geräth, läfst die Nadel zur Ruhe kommen, und bestreicht dann den einen oder den anderen Sehnenspiegel mit Kreosot, so findet ein Ausschlag statt in der Richtung von diesem Sehnenspiegel nach dem anderen Ende des Muskels. Bestreicht man dann auch noch den anderen Sehnenspiegel, so erfolgt der Ausschlag in der der ersten entgegengesetzten Richtung. Der Versuch ist also, in seinen Bedingungen wie in seinem Ergebnifs, völlig einerlei mit dem oben S. 106 am Biceps und den beiden Köpfen des Semitendinosus Cuv. vom Oberschenkel des Frosches angestellten, und es kann demnach kein Zweifel darüber bleiben, dafs auch die Muskeln der Säugethiere und Vögel fortwährend auf einer gewissen Stufe des parelektronomischen Zustandes gefunden werden.

Aus alledem geht mit Bestimmtheit hervor, dafs, wenn wirklich einmal der Fall einer gänzlichen Abwesenheit der parelektronomischen Schicht am natürlichen Querschnitt vorkommen sollte, dieser Fall doch nur zu betrachten sein würde als ein ungewöhnlicher Grenzfall, in welchem ein sonst mehr oder weniger ausgeprägtes Verhalten verschwindend geworden wäre. Es ist klar, die Erkältung thut nichts zur Sache, als dafs sie eine schon im gewöhnlichen Zustande vorhandene Eigenthümlichkeit in der Anordnung der elektromotorischen Kräfte am natürlichen Querschnitt steigert. Sie erzeugt diese Eigenthümlichkeit nicht, die wir somit vielmehr genöthigt sind, von jetzt ab als einen regelmäfsigen Zug in das Bild der elektromotorischen Thätigkeit der ruhenden Muskeln aufzunehmen.

Dafs uns dieser Zug bei unsern früheren Versuchen entgangen war, liegt an mehreren Umständen. Erstlich legten wir die Gastroknemien selten mit sehnigen Enden, meist mit natürlichem Längs- und Querschnitt auf, so dafs ihr Strom durch das Eiweifs der Eiweifshäutchen sogleich höher entwickelt werden konnte. Für's zweite kamen wir selten in den Fall, die Wirkung des natürlichen und des künstlichen Querschnittes miteinander zu vergleichen. Oder wenn es geschah und der Strom des künstlichen Querschnittes sich als der stärkere erwies, so stand uns der Ausweg offen, den wir oben Bd. I. S. 504 auch wirklich ergriffen, dafs nämlich die Neigung beider Querschnitte gegen den Längsschnitt eine verschiedene, günstiger beim künstlichen als beim natürlichen sei. Drittens endlich ist jener Zug für gewöhnlich in der That zu schwach ausgeprägt, um, bei Beobachtung des Stromes des natürlichen Querschnittes allein, und bei unterlassenem Vergleich mit dem Strome des künstlichen Querschnittes, die Aufmerksamkeit ernstlich und nachhaltig auf sich zu lenken inmitten der tausend sonstigen

Digitized by Google

Unregelmäfsigkeiten, die man bei den thierisch-elektrischen Versuchen zu bekämpfen hat. Dazu mufste erst der höhere Grad des parelektronomischen Zustandes in die Augen gefallen sein, wie er durch den Einfluſs dauernder Erkältung herbeigeführt wird.

Ein wie grofser Fortschritt aber in der neuen Vorstellung begründet sei, die wir uns fortan von der Anordnung der elektromotorischen Kräfte in den unversehrten Muskeln machen, brauche ich wohl nicht erst zu bemerken. Ohnehin wird man bald Gelegenheit haben, die Bedeutsamkeit dieses Fortschrittes daran zu ermessen, dafs so manche Eigenthümlichkeit in der elektrischen Wirkungsweise der Muskeln und der thierischen Gliedmafsen, die uns so lange unerklärlich blieb, nun plötzlich leicht verständlich erscheint.

Von einem parelektronomischen Zustande kann jetzt, wie man sieht, nicht füglich länger die Rede sein. Doch wollen wir fortfahren, mit diesem Namen, der Bequemlichkeit halber, den Zustand ausgesprochener Stromlosigkeit oder gar negativer Wirksamkeit der Muskeln, in Folge der veränderten Anordnung der elektromotorischen Kräfte am natürlichen Querschnitt, zu bezeichnen. Genau genommen, sieht man, dürften wir nur noch sprechen von einer parelektronomischen Schicht, und an die Stelle der Frage, welche Bedingungen die Entstehung dieser Schicht zur Folge haben, ist jetzt die zu setzen, welche Bedingungen die stets in gröfserem oder geringerem Grade bereits vorhandene Schicht weiter auszubilden vermögen.

Leider ist der Stand dieser Frage dadurch aber noch in anderer Beziehung verändert. Aus dem Umstand nämlich, dafs die parelektronomische Schicht mehr oder weniger ausgebildet sich stets bereits an allen Muskeln vorfindet, gehen für die Beantwortung jener Frage eben die oben S. 118 bereits angekündigten Schwierigkeiten hervor.

(11) Erörterung der Verfahrungsarten, um kleine Veränderungen im Zustande der parelektronomischen Schicht nachzuweisen.

Hätten wir gefunden, dafs die Muskeln, ohne dafs sie bestimmten Einflüssen ausgesetzt gewesen seien, keine Spur des vermeintlichen parelektronomischen Zustandes verrathen, so wäre nichts leichter gewesen, als diesen Zustand, nach seiner Entstehung durch solche Einflüsse, an den Muskeln nachzuweisen. Wir hätten dazu nur nöthig gehabt, die Muskeln mit sehnigen Enden aufzulegen, die Nadel zur Ruhe kommen zu lassen und den natürlichen Querschnitt mit Kreosot zu benetzen. Das Eintreten oder Ausbleiben eines positiven Ausschlages hätte uns alsdann leicht benachrichtigt, ob der zu erforschende Einfluſs beziehlich

Digitized by Google

im Stande sei oder nicht, die parelektronomische Schicht am natürlichen Querschnitt zu entwickeln.

Jetzt aber, wo wir wissen, dafs bei dieser Versuchsweise unter allen Umständen ein positiver Ausschlag erfolgt, ist damit augenscheinlich nichts mehr anzufangen. Es wird nun zwar immer leicht sein, zu unterscheiden, ob die unversehrten Muskeln durch einen Einflufs, der sie betroffen hat, scheinbar unwirksam oder gar negativ wirksam werden, während sie mit künstlichem Querschnitt noch kräftig positiv wirken, und in diesem Falle wird über die Wirksamkeit des Einflusses zur Ausbildung der parelektronomischen Schicht kein Zweifel bleiben. Handelt es sich aber um das Erkennen schwächerer Einwirkungen, kleiner Veränderungen in dem Zustande der parelektronomischen Schicht, so nimmt der Versuch eine viel verwickeltere Gestalt an.

Die erste Schwierigkeit rührt daher, dafs die positive Wirksamkeit der unversehrten Muskeln, auch wenn sie gar keinem besonderen Einflufs ausgesetzt waren, einem aufserordentlichen Wechsel unterworfen ist. Man findet, auch in der günstigsten Jahreszeit, Gastroknemien, die mit sehnigen Enden aufgelegt nur 30° Ausschlag geben, neben solchen, die ohne Weiteres die Nadel an die Hemmung werfen. Ja die beiden Gastroknemien eines und desselben Frosches können dergestalt von einander unterschieden sein. Nun sind einestheils gar manche Einflüsse, deren Wirksamkeit auf die Ausbildung der parelektronomischen Schicht man wohl erforschen möchte, der Art, dafs sie nicht auf einzelne Muskeln angewendet werden können. Andererseits wissen wir überhaupt noch nicht, ob an einzelnen Muskeln eine Veränderung der parelektronomischen Schicht noch vor sich gehen könne. Man kann folglich hier nicht etwa so verfahren, dafs man erst den einzelnen Muskel auf den Zustand seines natürlichen Querschnittes prüft, ihn alsdann dem Einflufs unterwirft, und ihn abermals prüft um zu sehen, in wie weit der Zustand seines natürlichen Querschnittes sich geändert hat. Es bleibt vielmehr nichts übrig, als vorläufig die Anzahl von Gastroknemien zu bestimmen, bei der sich die Schwankungen der positiven Wirksamkeit dergestalt ausgleichen, dafs die mittlere Wirkung dieselbe ist, und alle Versuche mit einer solchen Anzahl von Gastroknemien anzustellen. Hier also würde es wirklich einmal am Orte sein, sich ganzer Säulen aus Muskeln zu bedienen, wie Matteucci es thörichterweise überall zu thun pflegt. Freilich unterwirft man sich dadurch zugleich allen den Nachtheilen, die oben Bd. I. S. 233 von uns an diesem Verfahren gerügt worden sind.

Das ist aber noch nicht Alles. Sondern für's zweite sind die Einflüsse, deren Wirkung hier zu erforschen sein würde, wohl ohne Aus-

Digitized by Google

nahme der Art, dafs auch die elektromotorische Wirksamkeit der Muskeln überhaupt darunter leiden kann, wie dies denn auch bei der Kälte der Fall ist (S. oben S. 36). Es sei m der Unterschied der Spannungen, den der Muskel den Enden des Multiplicatorkreises ertheilen und dadurch positiv wirken würde, wenn die parelektronomische Schicht unwirksamer feuchter Leiter wäre; $-p$ derjenige, den diese Schicht denselben Enden ertheilen und dadurch negativ wirken würde, wenn umgekehrt der ganze übrige Muskel unwirksamer feuchter Leiter wäre; $m-p$ folglich die Kraft, mit der der natürliche Querschnitt positiv wirksam ist. Es ist, ohne bestimmte Gründe, nicht anders anzunehmen, als dafs, wenn irgend ein Einfluſs den Muskel trifft, mit m, auch p sich stets in gleichem Maſse verändern wird. Die Wirksamkeit des natürlichen Querschnittes kann folglich nicht nur dadurch vermindert erscheinen, dafs p gewachsen ist, sondern auch dadurch, dafs $m-p$ in Wirklichkeit mit einem gemeinsamen Factor $n<1$ multiplicirt wurde (Vergl. oben S. 103), und es handelt sich darum, im Versuch auszumachen, ob das erstere, oder wenigstens beides zugleich, oder ob nur das letztere die Ursache der etwa beobachteten Wirkungsabnahme des Stromes des natürlichen Querschnittes gewesen sei.

Der Weg dazu würde sein, zu untersuchen, ob sich das Verhältnifs der Wirkung des natürlichen Querschnittes z. B. des Gastroknemius, zu der des künstlichen Querschnittes z. B. des Adductor magnus Cuv. nach dem Einflusse gleich geblieben sei, oder, da man es nicht vor dem Einflusse beobachten kann, ob es das nämliche sei in den Muskeln einer Gruppe von Thieren, die dem Einfluſs ausgesetzt waren und in denen einer Gruppe von solchen, die dies nicht waren. In diesen würde jenes Verhältnifs sein

$$\frac{m-p}{m},$$

in jenen

$$\frac{n(m-p')}{nm}.$$

Man eliminirt also auf diese Weise im Versuch den unbekannten Coëfficienten n, der die allgemeine Verminderung der Kraft des Muskels bezeichnet. Ist das bezeichnete Verhältnifs durch den Einfluſs kleiner geworden, so ist p gewachsen zu p', die parelektronomische Schicht ist durch den Einfluſs weiter ausgebildet worden. Man könnte auch statt dessen vergleichen die Werthe

$$\frac{nm}{m} \text{ und } \frac{n(m-p')}{m-p};$$

sie müssen gleich sein, wenn $p'=p$, hingegen mufs der zweite Werth kleiner sein, wenn $p'>p$.

Digitized by Google

In dieser Einfachheit ist jedoch die Prüfung unausführbar. Denn als ungefähres Mafs der Gröfsen m, $m - p$, u. s. f., haben wir nichts, als die Ausschläge am Multiplicator. Je gröfser die Ausschläge sind, um so gröfseren Unterschieden der Stromstärke entsprechen gleiche Unterschiede der Ausschläge. Es werden also die Ausschläge a, b, c, d, die zu $n(m - p')$, $m - p$, nm und m gehören, schon ganz von selbst in dem Verhältnifs stehen, dafs

$$\frac{b}{d} > \frac{a}{c} \text{ oder dafs } \frac{a}{b} < \frac{c}{d},$$

ohne dafs ein solches Verhältnifs für die Stromstärken stattfinde, oder ohne dafs p zu p' gewachsen sei.

Indessen giebt es einen Kunstgriff, mit dessen Hülfe sich diesem Uebelstande begegnen läfst, und der hier um so mehr am Platze ist, als die dazu nöthige Anordnung des Versuches auch noch durch einen anderen Umstand geboten wird. Er besteht darin, bei der Beobachtung von m und nm die Empfindlichkeit des Multiplicators durch eine vorgelegte Nebenschliefsung zu mäfsigen, so dafs die Ausschläge a, b und c, d ihre Rollen vertauschen, insofern als a, b die gröfseren, c, d die kleineren werden. Die Mäfsigung der Empfindlichkeit des Multiplicators überhaupt ist, wie gesagt, nothwendig aus demselben Grunde, aus dem wir sie schon häufig angewendet haben, nämlich um zu verhindern, dafs die Ausschläge bei künstlichem Querschnitt die Nadel an die Hemmung oder auch nur in so hohe Breiten der Theilung führen, dafs dem Unterschiede der Stromstärken kein merklicher Unterschied der Ausschläge mehr entspricht. Allein indem man die Empfindlichkeit bei Beobachtung des Stromes des künstlichen Querschnittes so weit mäfsigt, als oben gesagt worden ist, bewirkt man zugleich, dafs, so lange p unverändert bleibt,

$$\frac{b}{d} < \frac{a}{c} \text{ oder } \frac{a}{b} > \frac{c}{d},$$

so dafs, wenn auch nur Gleichheit dieser Ungleichheiten, vollends, wenn das entgegengesetzte Verhalten beobachtet wird, mit Sicherheit geschlossen werden kann, dafs p zu p' gewachsen sei.

Auf dem Papiere also läfst sich, wie man sieht, diese Untersuchung glücklich zu Ende führen. Ich brauche aber wohl kaum zu sagen mit wie grofsen Schwierigkeiten sie bei ihrer Ausführung zu kämpfen hat.

Obenan steht dabei die grofse Unsicherheit in der Beobachtung der Wirkungsgröfse des künstlichen Querschnittes, welche so sehr abhängig ist von der seit der Zurichtung verflossenen Zeit (Vergl. oben S. 113). Diesen Uebelstand haben wir wohl oben Bd. I. S. 697. 698. 704. 709 an den Muskeln, Bd. II. Abth. I. S. 266 an den Nerven zu besiegen ge-

Digitized by Google

wufst, als es sich einfach darum handelte, die Wirkungsgröfsen zweier künstlichen Querschnitte, sei's von verschiedener Ausdehnung, sei's Muskeln oder Nerven von verschiedener Länge angehörig, mit einander zu vergleichen. Aber die Kunstgriffe, deren wir uns damals bedienten, hören auf anwendbar zu sein, wenn sie gleichzeitig an zehn bis zwanzig Muskeln in's Werk gesetzt werden sollen.

Man könnte daran denken, den künstlichen Querschnitt, statt auf mechanischem, auf einem der neuen Wege herzustellen, die wir nunmehr kennen gelernt haben. An das Verbrennen des natürlichen Querschnittes (S. oben S. 104) wird man hier wohl nicht im Ernst erinnern wollen. Aber das Anätzen möchte eher mit Gleichmäfsigkeit ausführbar scheinen. Indessen habe ich mich überzeugt, dafs diese Versuchsweise ebensowenig zum Ziele führt.

Ich tauchte die Gastroknemien eines und desselben Frosches, nach völlig übereinstimmender Zurichtung beider, zusammen in Kochsalzlösung, liefs sie etwas über die Zeit darin verweilen, die zur positiven Grenzwirkung dieser Lösung nöthig ist (Vergl. oben S. 48. 59) und wusch sie ebenso zusammen in Wasser aus. Allein ich erhielt von solchen Gastroknemien bei Ableitung des Stromes von ihren sehnigen Enden niemals gleich starke Ausschläge. Es kamen Unterschiede vor wie 16° und 26°; 31° und 43° u. s. f. Nicht besser gelang es mit Essigsäure. Auch kann dies nicht wohl anders sein. Man erwäge nur, von wieviel Zufälligkeiten es abhängt, bis zu welcher Tiefe die ätzende Flüssigkeit in den Muskel dringt, mit welcher Heftigkeit sie ihn angreift, endlich welche Leitungsfähigkeit sie der unwirksam gemachten Schicht mittheilt, die als Nebenschliefsung für den Muskelstrom in Bezug auf den Multiplicatorkreis zurückbleibt (Vergl. oben S. 57. 58. 78. 80).

Die Stärke des Stromes des künstlichen Querschnittes sinkt nach einer gewissen Zeit sehr viel langsamer, als in den ersten Augenblicken, wahrscheinlich um so langsamer, je länger nach der Zurichtung, so dafs unter der Voraussetzung der Congruenz der Curven, welche jenes Sinken in der Zeit vorstellen, die Unterschiede zwischen den Stromstärken verschiedener kurz nach einander zugerichteter Muskeln zuletzt verschwindend werden können. Auch hierauf liefse sich die Hoffnung gründen, brauchbare Bestimmungen der vergleichweisen Wirkungsgröfse zweier Muskelgruppen mit künstlichem Querschnitt zu erlangen.

Allein auch so gelangt man nicht zum Ziele, zum Beweise, dafs eben, aus hundert zufälligen Ursachen, die Curven nicht der Voraussetzung gemäfs congruent sind; und nun ist noch zu erwägen die endlose Weitläufigkeit jedes einzelnen Versuches bei diesem Verfahren, während jeder Versuch verloren ist, bei dem sich nicht zwischen den vier

Digitized by Google

Ausschlägen *a, b, c, d* das Verhältnifs herstellt, welches oben als nothwendig erkannt wurde, damit der Versuch beweisend sei; und dies zwar in einem Gebiete, wo es zunächst noch an jedem Anhaltspunkt gebricht, um mit Sicherheit fruchtbare Versuchswege einzuschlagen.

Völlig dieselben Hindernisse treten übrigens, wie man sieht, der Lösung der anderen Aufgabe entgegen, eine Rückbildung der parelektronomischen Schicht nachzuweisen, und müssen auf die nämliche Art bekämpft werden. Unter diesen Umständen wird man es mir verzeihen, wenn ich, wie oben S. 118 bereits bevorwortet wurde, über die hier zu stellenden Fragen noch fast so gut wie keine Auskunft zu ertheilen vermag.

(m) Nähere Untersuchung des Einflusses der Temperatur auf den Zustand der parelektronomischen Schicht.

Zuvörderst hätten wir uns näher zu erkundigen nach der Wirkungsweise niedriger Temperaturen zur Ausbildung der parelektronomischen Schicht, und unter anderen die oben S. 32 unbeantwortet gelassene Frage zu erledigen nach der Länge der Zeit, welche nothwendig ist, damit die Kälte ihre Wirkung äufsere.

Um nun hier systematisch zu Werke zu gehen, müfsten wir offenbar suchen, eine Tabelle mit doppeltem Eingang zu entwerfen, in deren einem Kopf sich die Temperaturen, in dem anderen die Zeiten, und in den entsprechenden Fächern die mittleren Wirkungsgröfsen angegeben fänden, die man von Muskeln von Fröschen erhält, welche die gegebene Zeit in der gegebenen Temperatur zugebracht haben.

Man sieht, dafs die erste Bedingung, um eine solche Tabelle auszufüllen, die sein würde, dafs man sich im Besitze der Mittel befände, um sich beliebige Zeit lang eine beliebige Temperatur zu verschaffen. Viele Stunden lang beständige Temperaturen zu erhalten, ist, wie man weifs, unter allen Umständen eine mifsliche Aufgabe, vornehmlich aber, wenn es sich, wie hier, um niedrige Temperaturen handelt. Man ist durchaus, im Winter wie im Sommer, auf Frostmischungen angewiesen, die im gröfsten Mafsstab ausgeführt werden müssen. Wie mühsam, zeitraubend und kostspielig solche Versuche vorzüglich im Sommer ausfallen, wo sie ohne einen Eiskeller gar nicht durchzuführen sind, bedarf nicht der Erwähnung; im Winter aber ist es wiederum fast unmöglich, dafs die Frösche nicht bereits niedrigen Temperaturen ausgesetzt gewesen sind. Gesetzt aber auch, man befände sich bereits im Besitz aller dieser Versuchsmittel, so findet man sich nicht nur zunächst zurückgeworfen auf alle die Schwierigkeiten, von denen oben die Rede war, sondern es kommt aller Wahrscheinlichkeit nach noch eine fernere

Digitized by Google

Verwickelung von Seiten der Thiere selber hinzu. Abgesehen nämlich von den sonstigen Schwankungen in dem Zustande der parelektronomischen Schicht, wodurch eben jene Schwierigkeiten bedingt werden, scheint es auch noch, dafs die Temperatur, der die Frösche vor dem Versuch ausgesetzt waren, einen Einfluſs ausübt auf ihre Empfänglichkeit für den Einfluſs der niedrigen Temperatur, der sie im Versuch ausgesetzt werden sollen.

Ich bekenne mich daher aufser Stande, eine Tabelle, wie die verlangte, auch nur im kleinsten Bruchstück mitzutheilen. Freilich wären die darin verzeichneten Wirkungsgröfsen in Ausschlägen meines Multiplicators ausgedrückt gewesen, und somit an sich ohne Werth; allein aus ihrer Vergleichung hätten sich doch unmittelbar müssen entnehmen lassen die Grundzüge des Gesetzes, wonach jene Wirkungsgröfsen von Zeit und Temperatur abhängen. Wie die Sachen stehen, beschränkt sich, was ich hier darzulegen habe, leider auf folgendes.

Um Frösche mit Sicherheit in den Zustand zu versetzen, dafs ihre Gastroknemien an meinem Multiplicator für den Muskelstrom unwirksam, oder nur noch schwach positiv wirksam erscheinen, mufs man sie mindestens 24 Stunden der Temperatur des schmelzenden Eises aussetzen. Ist aber einmal dieser Zustand eingetreten, so geschieht weiter keine Veränderung mehr, die parelektronomische Schicht bildet sich nicht ferner aus, auch nach wochenlangem Aufenthalt in jener Temperatur tritt keine negative Wirksamkeit der Muskeln ein. Damit dies der Fall sei, müssen die Frösche einer Temperatur von mehreren Graden unter Null ausgesetzt gewesen sein. Es ist aber alsdann kein so langer Aufenthalt in der Kälte mehr nothwendig, wie bei der Temperatur des schmelzenden Eises; wenige Stunden, ja eine Stunde oder noch weniger, reichen aus, und es giebt für die Dauer des Aufenthaltes sogar eine bestimmte Grenze, die nicht überschritten werden darf, widrigenfalls man die Muskeln statt negativ wirksam, völlig und für immer, auch mit künstlichem Querschnitt, unwirksam aus der Kälte hervorgehen sieht, die sie nämlich alsdann getödtet hat.

So weit scheint die Sache klar, und man würde scheinbar ganz einfach daraus zu schliefsen haben, dafs nicht jede Temperaturerniedrigung, beliebige Zeit lang fortgesetzt, im Stande sei, eine beliebige Ausbildungsstufe der parelektronomischen Schicht hervorzurufen, sondern dafs jeder solchen Temperaturerniedrigung nur eine bestimmte mittlere Grenzwirkung zustehe, welche um so höher liege und zugleich in um so kürzerer Zeit herbeigeführt werde, je niedriger die Temperatur. Diese Vorstellung von dem Gesetz der Einwirkung der Kälte auf die Ausbildung der parelektronomischen Schicht würde völlig damit stimmen,

Digitized by Google

dafs, wie wir nun wissen, die verschiedenen elektromotorischen Erscheinungsweisen der erkälteten Muskeln eben nur Abstufungen eines sonst gleichbedeutenden Verhaltens sind; und es würde der Nullpunkt der elektromotorischen Wirksamkeit zufälligerweise auch gerade die Grenzwirkung sein, welche die auf unseren Thermometern mit Null bezeichnete Temperatur des schmelzenden Eises hervorbringt.

Doch wäre es möglich, dafs diese Vorstellung, aus allzubeschränkten Erfahrungen erschlossen, auch nicht die richtige wäre. Es scheint nämlich, dafs, um die Muskeln negativ wirksam zu machen, ganz besondere Umstände nöthig sind, die ich noch nicht habe ergründen können. Die natürlichen Bedingungen, unter denen mir der Zustand der negativen Wirksamkeit zuerst aufstiefs, bestanden darin, dafs die Frösche eine Winternacht im Schnee des Gartens zugebracht hatten, während der das Minimumthermometer im Schnee auf — 5 bis — 8° C. sank (Vergl. oben S. 32). Ich suchte diese Bedingungen künstlich nachzuahmen, indem ich die Frösche in einem wasserdicht verschlossenen Glase in Frostmischungen brachte. Es zeigte sich sehr bald, dafs die Frösche damals im Schnee unmöglich lange hatten können dem Minimum der Temperatur ausgesetzt gewesen sein, welches das Thermometer anzeigte; denn stets fand ich ihre Muskeln völlig todt, wenn ich die Frösche mehrere Stunden in einer Temperatur unter — 5° liefs. Ich veränderte nun in zahlreichen Versuchen nach Kräften die Dauer des Versuches und die Temperatur, aber ohne zu einer sicheren Vorschrift zu gelangen, um die Muskeln negativ wirksam zu machen. Am besten schien mir noch ein Aufenthalt von 40′ in einer Temperatur von — 7° zu wirken. Aber bald fand ich die Muskeln ganz todt, bald noch lebend, aber, statt negativ wirksam, unwirksam, und nur stets in seltenen Fällen negativ wirksam, dabei bald noch zuckungsfähig, bald zuckungsunfähig (Vergl. oben S. 38). Oft war von den beiden Gastroknemien eines und desselben Frosches der eine unwirksam, der andere negativ wirksam (Vergl. oben S. 126). Die negativ wirksamen Muskeln bieten auch, wenn ich mich nicht irre, meist eine besondere Beschaffenheit dar; sie sind nämlich hochroth gefärbt und voll kleiner Blutergüsse, die ihnen ein gesprenkeltes Ansehen geben. Fast stets scheinen sie gefroren, doch sind sie es dabei in Wahrheit nicht immer, denn sie zucken häufig noch nach dem Aufthauen und wirken stark elektromotorisch. Alsdann befinden sie sich wahrscheinlich in dem räthselhaften oben S. 33 erwähnten Zustande, über den man wohl vor allen Dingen erst im Klaren sein müfste, ehe man hoffen könnte, sich der hier in Rede stehenden Erscheinungen völlig zu bemeistern.

Es sind nunmehr hier zwei Fälle möglich. Tragen wir die nega-

Digitized by Google

tiven Kräfte der parelektronomischen Schicht (S. oben S. 127) als Ordinaten auf die Temperatur als Abscisse auf, so kann die grofse Schwierigkeit, den Zustand der negativen Wirksamkeit im Versuch nach Willkür herbeizuführen, darauf beruhen, dafs die Curve bis zu der Temperatur von etwa — 5° sehr langsam, dann plötzlich sehr schnell aufsteigt, und dafs gleich darauf wegen des Erfrierens der Muskeln die elektromotorische Wirksamkeit überhaupt ein Ende nimmt. Diese Annahme würde sich nicht aus dem Kreise der oben bezeichneten, einfachsten Vorstellung über das Gesetz entfernen, wonach die Ausbildung der parelektronomischen Schicht von der Temperatur abhängt. Der andere denkbare Fall ist der, dafs, obschon auch der negativ wirksame Zustand der Muskeln auf einer höheren Ausbildung der parelektronomischen Schicht beruht und sich von dem der Unwirksamkeit nur gradweise unterscheidet, trotz dieser Continuität der Wirkungen doch keine gleiche Continuität der Ursachen stattfindet, sondern dafs irgend ein unbekannter und zufälliger Umstand hinzutreten mufs, damit die Muskeln die negativ wirksame Beschaffenheit annehmen. Spätere Untersuchungen werden zwischen diesen beiden Möglichkeiten zu entscheiden haben. Wie dem auch sei, die Schwierigkeit, auf die ich hier gestofsen bin, die negativ wirksame Beschaffenheit nicht nach Willkür beliebig oft hervorrufen zu können, sondern sie stets nur als seltenes Geschenk aus der Hand des Zufalls entgegenzunehmen, ist Schuld daran, dafs ich zahlreiche wichtige Fragen habe unerledigt lassen müssen, deren Beantwortung an die genaue Erforschung negativ wirksamer Muskeln gebunden war. (Vergl. oben S. 111. 112; und auf der folgenden Seite.)

Da die Wirkung der Kälte zur Ausbildung der parelektronomischen Schicht feststeht, so wird man sich ihrer bedienen können, um zu untersuchen, ob unter bestimmten Umständen eine Ausbildung der parelektronomischen Schicht stattfinde oder nicht. Der erste Punkt der Art, der zu erledigen sein würde, wäre die Frage, ob auch noch an einzelnen Muskeln, die man, dem Blutumlauf und dem Einflufs des Nervensystemes entzogen, in die Kälte bringt, eine weitere Ausbildung der parelektronomischen Schicht vor sich gehe. Denn es ist dem Leser wohl nicht entgangen, dafs die parelektronomischen Muskeln, von denen bisher die Rede war, stets im lebenden Thiere selber die Wirkung der Kälte erfahren hatten.

Der Versuch kann auf doppelte Weise angestellt werden. Beide Methoden gehen darauf hinaus, den schwächenden Einflufs, den die Kälte auf die elektromotorische Kraft der Muskeln überhaupt ausübt, aus dem Ergebnifs des Versuches zu verbannen. Die eine Methode besteht darin, die Muskeln so stark zu erkälten, dafs, wären sie im leben-

Digitized by Google

den Thiere, man zu erwarten haben würde, sie negativ wirksam werden zu sehen. Gelänge es dann auch hier, diesen Erfolg zu beobachten, so würde dies den Beweis liefern, dafs die parelektronomische Schicht sich noch an einzelnen Muskeln weiter auszubilden vermag. Denn es ist klar, dafs durch keine Schwächung der elektromotorischen Kraft des Muskels im Allgemeinen eine Umkehr des Stromes des natürlichen Querschnittes zu Stande kommen kann. Die andere Methode bestimmt zuerst die Stromstärke des natürlichen Querschnittes des Gastroknemius und die des künstlichen Querschnittes, etwa des Adductor magnus, erkältet dann den Gastroknemius nebst dem übrigen Galvani'schen Präparat 24 Stunden auf 0° und bestimmt abermals dieselben Stromstärken, die des künstlichen Querschnittes diesmal mit Hülfe des Adductor magnus des anderen Beines. Bei Bestimmung der Stromstärke des künstlichen Querschnittes mufs die Empfindlichkeit des Multiplicators so weit geschwächt werden, dafs die Ausschläge kleiner sind, als die durch den Strom des natürlichen Querschnittes erzeugten (S. oben S. 128). Fällt der Unterschied der Ausschläge durch den Strom des natürlichen Querschnittes vor und nach der Erkältung nicht kleiner oder gröfser aus als der Unterschied der Ausschläge durch den Strom des künstlichen Querschnittes, so ist auch hier der Beweis geführt, dafs die parelektronomische Schicht sich noch an einem einzelnen Muskel höher zu entwickeln vermöge.

Ich habe bis zur Zeit, wo ich diese Untersuchung für den Druck abschliefsen mufste, leider nicht Zeit gehabt, das zweite Verfahren in's Werk zu setzen. Das erste hingegen habe ich häufig verwirklicht, jedoch niemals negative Ausschläge von den Gastroknemien erhalten, die ich die verschiedensten Zeiten hindurch den verschiedensten Temperaturen unter Null aussetzte. Stets fand ich entweder den Strom fast unverändert, oder die Muskeln gingen erfroren, und dann todtenstarr, zuckungsunfähig und stromlos aus der Kälte hervor (Vergl. oben Abth. I. S. 180. 181. Abth. II. S. 30). Nichtsdestoweniger möchte ich deshalb noch nicht die Möglichkeit läugnen, dafs sich die parelektronomische Schicht an einzelnen Muskeln weiter ausbilde. Denn auch an lebenden Fröschen, wo doch zweifellos eine solche Ausbildung noch vor sich geht, gelingt es ja nur äufserst schwer, und unter bisher noch unerfafsbaren Bedingungen, die Muskeln durch Erkältung negativ wirksam zu machen. Ich mufs mich also in Betreff der wichtigen, hier gestellten Frage vor der Hand bescheiden.

Dies ist aber zugleich der Grund, weshalb ich noch keine Versuche über die Ausbildung der parelektronomischen Schicht durch die Kälte an warmblütigen Thieren angestellt habe. Denn lebende warm-

Digitized by Google

blütige erwachsene Thiere kann man dadurch, dafs man sie dauernd einer niedrigen Temperatur aussetzt, nur wenig und nur oberflächlich erkälten. Um ihre Muskeln also hinreichend tiefen Temperaturen auszusetzen, mufs man die warmblütigen Thiere entweder erst tödten, oder man mufs sie erfrieren lassen. Ehe folglich die Frage entschieden ist, ob an den Muskeln, auch nachdem sie des Blutumlaufes und des Einflusses des Nervensystemes beraubt sind, noch eine Ausbildung der parelektronomischen Schicht möglich ist, kann nicht füglich die Untersuchung über den Einfluſs der Kälte auf den Muskelstrom der warmblütigen Thiere ihren Anfang nehmen.

Was Matteucci's und Cima's Versuche darüber betrifft, die sich oben S. 28 ff. angeführt finden, so sind sie ganz ohne Bedeutung. Sie beziehen sich allein auf den Strom des künstlichen Querschnittes, den sogenannten »Muskelstrom« beider Schriftsteller. Bei Matteucci ist nicht klug daraus zu werden, ob die schwächende Wirkung der Kälte auf diesen Strom stärker sein solle bei den warmblütigen, oder bei den kaltblütigen Thieren. Denn es findet sich abwechselnd das Eine und das Andere angegeben. Cima entscheidet sich für das letztere. Allein er selber deutet bereits an, wie die Muskeln eines der Kälte ausgesetzten lebenden warmblütigen Thieres ja keineswegs die Temperatur des Mittels annehmen, wie also die scheinbar geringere Einwirkung der Kälte, statt von einer geringeren Empfänglichkeit der Muskeln dafür, einfach davon herrühren könne, dafs in der That die Muskeln einer geringeren Kälte ausgesetzt werden.

Folgendes ist ein interessanter Bezug, den die Untersuchung in der Folge hier zu nehmen haben wird. Der oben S. 32 geschilderte Zustand der Frösche, in den sie durch die dauernde Erkältung auf eine dem Gefrierpunkte nahe Temperatur versetzt werden, ist, wie man leicht erkennt, kein anderer als der des Winterschlafes. Man vergleiche die Schilderung des Winterschlafes der Frösche bei Barkow.[1] Es ist daher wohl keine Frage, dafs man fortan die höhere Ausbildung der parelektronomischen Schicht als ein neues Attribut des Winterschlafes der kaltblütigen Thiere aufzuzählen haben wird. Wahrscheinlich aber werden die warmblütigen Winterschläfer dieselbe Erscheinung wahrnehmen lassen, da ja bei diesen bekanntermafsen die Eigenwärme in so aufserordentlich viel höherem Grade von der Temperatur des Mittels abhängt, als bei den übrigen warmblütigen Thieren.

Den Einfluſs der Temperatur auf den Zustand der parelektrono-

[1] Der Winterschlaf nach seinen Erscheinungen im Thierreiche u. s. w. Berlin 1846. S. 125.*

Digitized by Google

mischen Schicht anlangend, bietet sich nun noch die wichtige Frage dar, ob Erhöhung der Temperatur Rückbildung der parelektronomischen Schicht zur Folge habe, wie Temperaturerniedrigung eine weitere Ausbildung dieser Schicht.

Beim ersten Anblick scheint es freilich, als wenn dem kaum anders sein könne. Im Winter gehen die Muskeln der Frösche durch den Zustand der Stromlosigkeit bei natürlichem Querschnitt hindurch, im Frühling und Sommer werden sie oft wieder mit natürlichem Querschnitt stark positiv wirksam gefunden. Auch berichtet Cima, dafs, während ein paar kalte Tage dazu gehören, damit die Wirkung der Kälte auf den Strom sichtbar werde, ein warmer Tag häufig hinreiche, die Frösche in ihren gewöhnlichen Zustand zu versetzen (S. oben S. 30).

Sollte aber wirklich die Wärme an und für sich einen rückbildenden Einfluſs auf die parelektronomische Schicht ausüben, so müfste ich auf alle Fälle Cima's Zeitbestimmung umkehren, und im Gegentheil aussagen, dafs die weitere Ausbildung der Schicht durch die Kälte viel schneller von Statten gehe, als ihre Rückbildung durch die Wärme. Denn in der Gefangenschaft habe ich den Strom des natürlichen Querschnittes auch in der längsten Zeit und bei hoher Sommerwärme sich nie recht deutlich erholen sehen, während ein Aufenthalt von 24 Stunden in der Temperatur des schmelzenden Eises erwähntermafsen (S. oben S. 131) hinreicht, um die Muskeln der Frösche an meinem Multiplicator für den Muskelstrom nahe stromlos erscheinen zu machen.

Es ist mir aber überhaupt nicht gelungen, im Versuch nachzuweisen, dafs die Wärme an und für sich einen solchen Einfluſs auf die parelektronomische Schicht äufsere, wie Matteucci und Cima angeben. Wenn Matteucci erzählt, dafs man einen erkälteten Frosch nur wieder in lauwarmes Wasser zu bringen brauche, um seine Muskeln in den gewöhnlichen Zustand zu versetzen (S. oben S. 27), so ist in der That nicht zu begreifen, wie er zu dieser Behauptung hat kommen können. Es ist wohl zu beklagen, dafs diese Behauptung einmal wieder völlig aus der Luft gegriffen ist. Denn durch ein so sicheres und so leicht anwendbares Mittel, wie nach Matteucci die Erwärmung es darbieten würde, um den parelektronomischen Zustand verschwinden zu machen, würden viele Untersuchungen über diesen Zustand ebensosehr erleichtert werden, als sie in Wirklichkeit erschwert sind durch die Ungewifsheit, in der man sich stets darüber befindet, in welchem Mafse dieser Zustand bereits vorhanden ist (Vergl. oben S. 125. 126).

Ich habe Frösche, die im Winter in einer Temperatur nahe dem Schmelzpunkte gelebt hatten, 24 Stunden lang einer Temperatur von + 24 bis + 27° C. ausgesetzt. Ich fand ihre Muskeln gerade so par-

Digitized by Google

elektronomisch als die anderer Frösche, welche nicht erwärmt worden waren. Ein erkälteter Frosch wurde in ein Glas mit wenig Wasser gesetzt, und das Wasser im Lauf einer halben Stunde von etwa 12° auf 30°, in der folgenden halben Stunde auf 37° erwärmt. Der Frosch fiel auf den Rücken, seine Athemzüge waren unzählbar, seine Pupille erweitert. Die Muskeln aber zeigten sich parelektronomisch wie gewöhnlich. Ein anderer Frosch war durch die Kälte scheintodt geworden. In Wasser von 45° aufgethaut geriethen seine Muskeln über und über in flimmerndes Zucken. Auf ihren Strom geprüft erwiesen sie sich stark parelektronomisch.

Eben so wirkungslos fand ich das Erwärmen einzelner Muskeln. Dies geschah im Dampfbade, da das warme Wasser, bei längerem Eintauchen der Muskeln, Entwickelung des Stromes herbeigeführt haben würde (S. oben S. 60. 61). Auf dem Grund einer geräumigen Vorlage befand sich etwas Wasser, und wurde mittelst der Berzelius'schen Lampe beständig auf der verlangten Temperatur erhalten. Durch den Kork in der einen Tubulatur ragte ein Thermometer mit seiner Kugel in den Dampfraum über dem Wasser hinein. Durch den Kork in der anderen senkrecht gestellten Tubulatur ging ein Draht, dessen unteres Ende zu einem Haken umgebogen war. An den Haken wurde der zu erwärmende Gastroknemius, nachdem sein Strom geprüft worden war, mittelst einer um die Achillessehne gelegten Fadenschlinge so aufgehängt, dafs er dicht neben der Thermometerkugel schwebte, sein Kopf aber die Oberfläche des Wassers nicht erreichte. In dieser Weise erwärmte ich die Muskeln drei Stunden auf 30°, eine Stunde auf 35°, 40′ auf 40°, ohne den geringsten Erfolg. Steigert man, bei gleichen Temperaturen, die Dauer des Dampfbades oder bei gleichen Dauern seine Temperatur, so gehen die Lebenseigenschaften der Muskeln sehr bald zu Grunde (Vergl. oben Abth. I. S. 178). Taucht man aber den Muskel nur wenige Augenblicke in heifse Wasserdämpfe, so bleibt die verderbliche Wirkung an der Oberfläche, nur die parelektronomische Schicht wird davon betroffen, nebst einer dünnen gleichgültigen Schicht am natürlichen Längsschnitt (S. oben S. 105), und die Folge ist Entwickelung des Stromes. Der Versuch fällt zurück in den bereits oben ebendas. beschriebenen, wo wir die Muskeln einen Augenblick lang in heifses Wasser tauchten.

Man sieht aber jetzt, wie bereits ebendas. erwähnt wurde, dafs nicht daran zu denken ist, die sich hier kundgebende Entwickelung des Stromes von einer specifischen Einwirkung abzuleiten, welche die Wärme, im Gegensatz zur Kälte, auf die Rückbildung der parelektronomischen Schicht ausüben würde. Vielmehr bleibt es ganz zweifelhaft,

Digitized by Google

ob die Wärme an und für sich eine solche Wirkung überall ausübe. Ausgemacht scheint vor der Hand, durch die Thatsache sowohl der jährlichen Oscillation als der im Sommer bei kalter Witterung eintretenden vorübergehenden Senkungen des Stromes des natürlichen Querschnittes, nur dies Eine, dafs die Wärme für die Rückbildung der Schicht eine unerläfsliche Bedingung abgiebt. Damit aber die Rückbildung wirklich stattfinde, müssen sichtlich noch andere Bedingungen hinzutreten, die in der Gefangenschaft der Frösche für gewöhnlich nicht erfüllt sind. Als solche kann man sich füglich nur zwei denken, die eine hier in Betracht kommende Wirkung zu äufsern vermögen, der Gebrauch der Muskeln nämlich und die Ernährung. Ich bin nicht im Stande, etwas Bestimmtes beizubringen über den Antheil, den jeder dieser Factoren an dem Vorgange der Rückbildung haben mag. Indessen wird eine baldige Folge lehren, dafs heftige und andauernde Zuckungen einzelner Muskeln an dem Zustande der Schicht an diesen Muskeln nichts ändern, ja dafs die Schicht überhaupt an dem Molecularvorgang der Zusammenziehung keinen Antheil hat.[1] Es würde also schliefslich sich als das wahrscheinlichste bei der jetzigen Sachlage ergeben, dafs es die normale Ernährung der Frösche bei der normalen Temperatur ist, welche die Rückbildung der Schicht vermittelt. Augenscheinlich aber mufs es aufserdem noch einen anderen Umstand geben, der mitbestimmend auf den Zustand des natürlichen Querschnittes einwirkt, und zwar der Art, dafs er geeignet sei, von den beiden gleichnamigen Muskeln desselben Frosches den einen mehr, den anderen weniger zu treffen. Welcher Umstand dies sei, liegt, auch nur zu muthmafsen, für jetzt noch völlig aufserhalb des Bereiches meiner Einsichten.

(IV) Prüfung des Einflusses einiger anderen Umstände auf den Einflufs der parelektronomischen Schicht.

Wie dem auch sei, es konnte nunmehr hier folgendermafsen weiter geschlossen werden. Zur Rückbildung der Schicht gehören unter andern Wärme und Ernährung; zu ihrer weiteren Ausbildung genügt, wie wir bereits wissen, Entziehung der Wärme allein. Vielleicht genügt aber auch dazu, bei unveränderter Temperatur des Mittels, Entziehung der Nahrung allein. In der That müfste ich mich sehr irren, oder ich habe die parelektronomische Schicht an Muskeln von Fröschen, die im Sommer lange Zeit bei mir in der Gefangenschaft gehungert hatten, sich weiter ausbilden sehen, ohne dafs sie der Kälte ausgesetzt worden waren. Vielleicht lassen sich alsdann die höheren Stufen des parelek-

[1] S. unten, No. 12 (I. II).

Digitized by Google

tronomischen Zustandes durch beliebige Einflüsse hervorrufen, welche geeignet sind, den Ernährungsvorgang in den Muskeln zu beeinträchtigen. Darauf würde alsdann weiter fortzubauen sein, um zu einer Vorstellung von der physiologischen Bedeutung der parelektronomischen Schicht in ihren verschiedenen Zuständen zu gelangen.

Hier würde der Ort sein, um einiger Versuche Cima's und Matteucci's zu gedenken. Cima nahm fünf rüstigen Fröschen Herz und Lungen aus und liefs sie so zwei Stunden lang leben. Dann untersuchte er den Strom einer Säule aus den zehn Unterschenkeln und einer anderen aus den zehn querdurchschnittenen Oberschenkeln dieser Frösche. Die erstere Säule, an der also der natürliche Querschnitt thätig war, gab kaum 3° Ausschlag, die andere, mit künstlichem Querschnitt wirksame, 10°. Nach einer Viertelstunde versagte die erste jedes Anzeichen von Strom, die zweite gab 9° Ausschlag. In einem anderen Versuch betrug der sogenannte Froschstrom 7°, der Muskelstrom 9°. Nach Matteucci übertreffe aber sonst bei diesen Anordnungen der Froschstrom den Muskelstrom an Stärke und Dauer. Man müsse also schliefsen, dafs, gleich der Kälte, die Abwesenheit der Athmung und des Kreislaufes in höherem Mafse schwächend auf den Froschstrom (den Strom des natürlichen Querschnittes) als auf den Muskelstrom (den Strom des künstlichen Querschnittes) einwirke.[1] Im folgenden Jahre berichtete Matteucci dasselbe, wie von der Kälte, so auch von dem Erstickungstode und dem durch Verblutung (S. oben Abth. I. S. 176. Abth. II. S. 30).

Von den schädlichen Einflüssen, die hier angewendet wurden, läfst sich offenbar annehmen, dafs sie den Ernährungsvorgang in den Muskeln beeinträchtigen. Wir könnten folglich das Ergebnifs der Versuche Cima's und Matteucci's als vorläufige Bestätigung unserer obigen Muthmafsung ansehen. Denn dies Ergebnifs, in unsere Sprache übersetzt, würde heifsen, dafs die parelektronomische Schicht durch die schädlichen Einflüsse weiter ausgebildet worden sei.

Indessen hat Matteucci, wie man sich erinnert (S. oben S. 121), seine Behauptung, dafs der Froschstrom den Muskelstrom bei diesen Anordnungen an Stärke übertreffe, später dergestalt eingeschränkt, dafs diese Einschränkung einer Zurücknahme gleich kommt. Dadurch hat er aber offenbar zugleich der jetzt in Rede stehenden Behauptung den Boden unter den Füfsen fortgezogen, wonach der Froschstrom stärker als der Muskelstrom die Wirkung jener schädlichen Einflüsse erfahren solle. Unter diesen Umständen ist auf seine und Cima's frühere Versuche nichts mehr zu geben. Das Uebergewicht des Stromes des

[1] Saggio storico-critico ec. p. 473. §. 39. p. 508. 509. §. 25. 26.

Digitized by Google

künstlichen Querschnittes über den des natürlichen kann in diesen Versuchen ebensogut beruht haben auf der Gegenwart der gewöhnlichen parelektronomischen Schicht, vielleicht durch Temperaturerniedrigung zufällig etwas höher entwickelt, als auf dem Einflusse der Verblutung oder der unterdrückten Athmung.

Auf folgende Weise habe ich die Untersuchung in Angriff genommen, ob wirklich durch jede Beeinträchtigung des Ernährungsvorganges in den Muskeln die parelektronomische Schicht höher entwickelt werde. Ich besafs einen grofsen Vorrath von Fröschen, die seit ihrem Fange, der an Einem Tage stattgefunden hatte, unter gleichen Bedingungen gelebt hatten. Sechs von diesen Fröschen schnitt ich ihre zwölf Gastroknemien aus, bildete aus den sechs rechten und aus den sechs linken zwei Säulen, und verglich die elektromotorischen Kräfte dieser Säulen, indem ich sie erst zusammen, als zwölfgliederige Säule, in einer Richtung wirken, hernach sich einander entgegenwirken liefs. Leider befand sich an diesen Fröschen die parelektronomische Schicht bereits auf einem hohen Grade der Ausbildung, so dafs ich, bei dem ungeheuren Widerstande der zwölf Muskeln, mich genöthigt sah, den Multiplicator für den Nervenstrom anzuwenden. Dessen Nadel wurde durch die gemeinsame Wirkung der beiden Säulen noch eben gegen die Hemmung geführt. Dagegen wenn beide Säulen einander entgegenwirkten, entstand ein Ausschlag von nur 4 — 6°. Diesen Versuch wiederholte ich noch dreimal an drei anderen Halbdutzenden von Fröschen. So gewann ich die Ueberzeugung, dafs die Zahl von sechs Muskeln bereits so ziemlich ausreicht, um die Unterschiede sich ausgleichen zu machen, die zwischen dem Entwickelungszustande der parelektronomischen Schicht an den beiden Gastroknemien eines und desselben Frosches zu bestehen pflegen (S. oben S. 126). Nun nahm ich abermals zwölf Frösche derselben Sippschaft, zerschnitt sechs davon den rechten Ischiadicus in der Kniekehle, und unterband den sechs übrigen die Gefäfsstämme ebendaselbst. Dies ist, um den Ernährungsvorgang im Muskel zu beeinträchtigen, ohne Zweifel der Weg, der am sichersten und gleichmäfsigsten zum Ziele führt. Der Lymphraum des Unterschenkels blieb dabei uneröffnet, um den natürlichen Querschnitt vor dem Eindringen entwickelnder Flüssigkeit zu schützen. Die Hautwunde wurde durch eine Naht geschlossen. In diesem Zustande bewahrte ich die Frösche dreimal vierundzwanzig Stunden in der gewöhnlichen Weise (auf dem nassen, oben Bd. I. S. 458 beschriebenen Wege) auf. Mit den Gastroknemien dieser Frösche verfuhr ich nun wie vorhin mit denen der unverletzten. Es gab sich aber gar kein Unterschied zwischen ihrem Verhalten und dem jener zu erkennen. Die Säule aus den Gastroknemien mit durch-

Digitized by Google

schnittenen Nerven oder unterbundenen Gefäfsen im Verein mit der aus den Gastroknemien der gesunden Seite warf die Nadel des Multiplicators für den Nervenstrom noch eben an die Hemmung, bei Entgegensetzung der Säulen entstand ein Ausschlag von 4—6°, und zwar hatte sogar die Säule aus den Gastroknemien mit durchschnittenen Nerven oder unterbundenen Gefäfsen das kleine Uebergewicht. Eine weitere Ausbildung der parelektronomischen Schicht hatte unter diesen Umständen also ganz gewifs nicht stattgefunden. Eher wäre sogar das Ergebnifs zu deuten gewesen auf eine Rückbildung der Schicht, insofern zu vermuthen steht, dafs der Strom des künstlichen Querschnittes unter dem Einflusse der Nervendurchschneidung und der Gefäfsunterbindung eine Schwächung erleidet. Doch habe ich eine solche Schwächung nach dieser Frist noch nicht nachzuweisen vermocht. Wenn sie vorhanden ist, fällt sie jedenfalls innerhalb der hier allerdings sehr weiten Grenzen der Beobachtungsfehler (S. oben S. 128. 129).

Somit scheint es also, als ob, hinsichtlich der physiologischen Bedeutung der parelektronomischen Schicht, auf diesem Wege kein Aufschlufs zu erlangen wäre. Die Vermuthung, dafs die Ausbildung der parelektronomischen Schicht die Folge einer jeden Beeinträchtigung des Ernährungsvorganges des Muskels sein werde, hat sich nicht bestätigt gefunden. Es sei denn, dafs vielleicht die Frist von dreimal vierundzwanzig Stunden noch nicht lang genug gewesen, um merkliche Erscheinungen hervortreten zu lassen; oder auch dafs die auf diesem Wege zu erreichende Ausbildung der parelektronomischen Schicht eine Grenze habe, welche in den von mir zu den obigen Versuchen angewendeten Muskeln bereits überschritten war in Folge anderer auf die Ausbildung der Schicht gerichteter Einflüsse. Jedenfalls würde alsdann doch die Kälte an Stärke der Wirkung aufserordentlich die Nervendurchschneidung und die Unterbindung der Gefäfse übertreffen.

Auch von der Schwefelwasserstoffvergiftung berichtet Matteucci, wie von der Kälte, dem Erstickungstode, der Verblutung (S. oben S. 30. 138), dafs sie auf den Froschstrom einen stärkeren Einfluſs ausübe als auf den Muskelstrom, d. h., nach unserer Redeweise, dafs sie die Ausbildung der parelektronomischen Schicht befördere. Ich habe nunmehr (Vergl. oben Abth. I. S. 174) auch einen solchen Versuch angestellt, ohne jedoch auf irgend eine auffallende Erscheinung zu stofsen, wodurch ich aufgefordert worden wäre, länger bei dem Gegenstande zu verweilen. Ich brachte sechs Frösche unter eine mit Wasser abgesperrte Glocke. Das Gasentbindungsrohr mündete unter der Oberfläche des Wassers in der Glocke, ein anderes Rohr verband den Luftraum der Glocke mit der freien Luft. Als das Gas zu strömen anfing, wurde

Digitized by Google

also zuerst das Sperrwasser mit Schwefelwasserstoff geschwängert, und dann die Luft aus der Glocke durch das Gas verdrängt. Nach wenigen Minuten begannen die Frösche ängstlich umherzuspringen. Nach abermals wenigen Minuten waren sie dermafsen betäubt, dafs sie bei ihren Sprüngen auf den Rücken fielen. Einige sperrten das Maul weit auf. Endlich nach zehn Minuten waren alle todt. Das Blut war schwarz gefärbt, alle blutreichen Organe schwarzblau. Doch antworteten die Muskeln noch auf den Reiz des unmittelbar daran gelegten Zinkplatinbogens (S. oben Bd. I. S. 445), und die Galvani'schen Präparate wirkten nicht nur nicht schwächer, sondern im Mittel sogar um ein Namhaftes stärker als die von sechs Fröschen derselben Sippschaft, die nicht vergiftet worden waren. Den Strom des künstlichen Querschnittes habe ich nicht geprüft. Sollte aber dieser Strom wirklich, wie Matteucci es angiebt, durch die Schwefelwasserstoffvergiftung in ganz besonderem Mafse beeinträchtigt werden, so würde aus dem obigen Ergebnifs um so mehr zu schliefsen sein, dafs die parelektronomische Schicht durch diese Todesart nicht höher entwickelt wird.

Von vielen und wichtigeren Aufgaben bedrängt, habe ich hier diese Untersuchung auf sich beruhen lassen, in der sich nicht nur, wie man gesehen hat, die gewöhnlichen Schwierigkeiten der thierisch-elektrischen Versuche in's Ungemeine steigern, sondern auch noch der Fall eintritt, dafs es, hinsichtlich des nunmehr einzuschlagenden Weges, vor der Hand an jedem Fingerzeig gebricht. Je mangelhafter ich aber an dieser Stelle den Stand der Dinge zurücklassen mufs, um so dringender empfehle ich sie denjenigen, die sich mit der Fortführung meiner Arbeiten befassen wollen, zum Angriffspunkte ihrer Forschungen. Es kann nicht ausbleiben, dafs mit ungetheilten Kräften auf diesen Punkt gerichtete nachhaltige Bestrebungen eine reiche Erndte wichtiger Ergebnisse zu Tage fördern.

12. Von dem elektromotorischen Verhalten der Muskeln im parelektronomischen Zustande bei der Zusammenziehung und von der elektromotorischen Nachwirkung des Tetanus.

(1) Von der Erscheinungsweise der negativen Schwankung bei der Zusammenziehung an den Muskeln im parelektronomischen Zustande.

Ich habe natürlich nicht versäumt, mich zu unterrichten, wie die negative Schwankung des Muskelstromes bei der Zusammenziehung sich im parelektronomischen Zustande der Muskeln gestalten würde. Bei dem Stande unserer Kenntnisse und Vorrichtungen bietet der Versuch

Digitized by Google

keine weiteren Schwierigkeiten dar. Es handelt sich offenbar nur darum, den Strom des Gastroknemius von seinen sehnigen Enden abzuleiten, ohne dafs bei der Zusammenziehung die Kette geöffnet werde. Dies läfst sich leicht mit Hülfe der kleinen Streckvorrichtung bewerkstelligen (S. oben Abth. I. S. 67. 77. 86. 130. 607. Taf. I. Fig. 86. 87), in welcher der Muskel so ausgespannt werden kann, dafs seine beiden sehnigen Enden den Zuleitungsbäuschen zugänglich bleiben.

Die ursprüngliche, a. a. O. gegebene Vorschrift hiezu lautet, dem Muskel das obere und untere Knochenstück zu lassen, an welche er sich heftet, und seine Sehnen durch die Spalte in den Elfenbeinplatten Fig. 87 A, A_1, B, B_1 zu zwängen, so dafs die Knochenstücke gewissermafsen die Handhaben vorstellen, an denen der Muskel Behufs der Dehnung ergriffen und von welchen der Strom abgeleitet wird. Für den Muskelkopf ist gegen diese Vorschrift im Wesentlichen nichts einzuwenden. Was aber das untere Ende betrifft, so ist zu bemerken, dafs erstens die Achillessehne häufig von der Fufswurzel abreifst, zweitens die Muskeln der Fufswurzel leicht auf eine sehr störende Weise elektromotorisch wirken. Um letzteres zu verhindern wurde oben Abth. I. S. 132 gerathen, die Fufswurzel oder das untere Knochenstück vor dem Versuch in warmer Kochsalzlösung unwirksam zu machen. Hier würde natürlich dies Verfahren sehr bedenklich sein, da es schwer halten möchte, dabei den natürlichen Querschnitt des Muskels von jeder stromentwickelnden Einwirkung seitens der Lösung freizuhalten. Ich schlug daher einen anderen Weg ein, welcher in Folgendem besteht. Die Fufswurzel wird ganz entfernt. Ein starker Faden wird oberhalb des Sesamknorpels um die Achillessehne in Gestalt eines Weberknotens fest zusammengezogen, die Sehne durch den Spalt der Elfenbeinplatte so gelegt, dafs die Schlinge des Fadens sich aufserhalb befindet und der Faden um die Platte festgebunden. Zum Ueberfluſs kann man den Faden auch noch an der inneren Seite der Platte um die Sehne, und dann nochmals um die Platte festbinden. So ist die Sehne hinreichend fest mit der Platte verbunden, um den Muskel bis zur Zerreifsung zu spannen. An das Ende der Sehne unterhalb des Sesamknorpels wird der Zuleitungsbausch angelegt.

Wird nun auf diese Art der Gastroknemius, dem der Ischiadnerv gelassen worden ist, mit sehnigen Enden unverrückbar in den Kreis der Kette gebracht, so erhält man, je nach der Stufe des parelektronomischen Zustandes, auf der sich der Muskel befindet, entweder einen negativen, oder keinen, oder einen schwachen positiven Ausschlag. Tetanisirt man auf elektrischem Wege vom Nerven aus (S. oben Abth. I. S. 35 ff.), so sieht man in allen drei Fällen einen Ausschlag in ab

Digitized by Google

steigendem Sinn erfolgen. Wenn der Muskel bereits negativ wirksam war, so erfolgt also in Bezug auf das Zeichen des schon vorhandenen Stromes, statt einer negativen, eine positive Wirkung; wenn er unwirksam war, so wird er im Augenblick der Zusammenziehung negativ wirksam; endlich, wenn er bereits positive Wirksamkeit besafs, so übersteigt die erfolgende negative Wirkung bei weitem diejenige, die von einem blofsen Aufhören der positiven Wirkung und von dem Freiwerden der durch sie entwickelten Ladungen herrühren könnte.

Dies läfst sich leicht zeigen, erstlich, indem man die Zuleitungsbäusche, neben dem Gastroknemius, noch mit dem Schliefsungsbausche überbrückt. Trotz der so sehr viel besseren Leitung bleibt häufig der Ausschlag unter dem, den man durch Tetanisiren erhält. Zweitens, indem man auf die oben Abth. I. S. 60 dargelegte Art die Ladungen ganz aus dem Spiel bringt, indem man nämlich die Muskelkette erst schliefst, nachdem man begonnen hat zu tetanisiren. A. a. O. hatte dies Verfahren mit einem Muskel, dessen Strom vollständig, oder nahezu vollständig entwickelt war, einen positiven Ausschlag zur Folge, obwohl schwächer, als vom ruhenden Muskel. So bewiesen wir damals, dafs es sich bei der negativen Schwankung, trotz dem durch die Ladungen bedingten Anschein, nur um eine Abnahme, nicht um Umkehr der Gesammtwirkung des Muskels während der Zusammenziehung handle. Hier dagegen, wo wir am Muskel im parelektronomischen Zustande beobachten, ist der Erfolg der umgekehrte. Der Ausschlag, den man beim Schliefsen der Muskelkette nach dem Beginn des Tetanus erhält, ist stets negativ.

Man kann aber leicht diese Erscheinungsweise im Versuch überleiten in die gewöhnliche, uns von früher her geläufige. Dazu ist nur nöthig, den parelektronomischen Gastroknemius, statt mit sehnigen Enden, mit natürlichem Längs- und Querschnitt in den Kreis zu bringen. Alsdann nämlich entwickelt sich, wie wir bereits wissen, stetig der positive Strom des Muskels, wegen des an die Ausbreitung der Achillessehne angelegten Eiweifshäutchens (S. oben S. 35. 36. 53). Wiederholt man unter diesen Umständen mehrmals nach einander den Versuch, die Kette erst zu schliefsen, nachdem der Tetanus begonnen hat, so sieht man zwar anfangs die Nadel negativ abgelenkt werden. Diese negativen Ausschläge werden aber immer kleiner. Zuletzt gehen sie durch Null über in positive Ausschläge, und nun ist man genau in den oben erinnerten Versuch, Abth. I. S. 60, zurückgefallen. Verfährt man auf dieselbe Weise mit künstlichem Querschnitt statt mit natürlichem, so erhält man gleich das erstemal Anschlagen an die positive Hemmung.

Ist der Muskel mit sehnigen Enden in die Kette gebracht, so dafs

Digitized by Google

keine entwickelnde Ursache den natürlichen Querschnitt treffen kann, so sieht man die Nadel, nach Beendigung des Tetanus, stets ihre frühere Stellung nahezu wieder einnehmen, nie sie überschreiten. Es liegt also in heftigen und andauernden Zusammenziehungen kein Grund zur Rückbildung der parelektronomischen Schicht.

Die Untersuchung des zuckenden parelektronomischen Muskels mittelst des stromprüfenden Froschschenkels lehrt schliefslich, in Uebereinstimmung mit allem Vorhergehenden, dafs auch ein solcher Muskel im Stande ist, die secundäre Zuckung in allen ihren Gestalten hervorzubringen, so gut wie ein Muskel der im vollen Besitze seines Stromes ist (S. oben Abth. I. S. 93 ff.). Tetanisirt man den parelektronomischen Muskel, so geräth der stromprüfende Schenkel, dessen Nerv dem Muskel entlang gelegt ist, in secundären Tetanus, zum Beweise, den die Multiplicatornadel nicht zu liefern vermag (S. oben Bd. I. S. 409. Bd. II. Abth. I. S. 87. 528), dafs der bei der Zusammenziehung hier entstehende Strom unterbrochener Art ist, gleich der negativen Schwankung beim Tetanisiren nicht parelektronomischer Muskeln. Die Curve jenes Stromes bezogen auf die Zeit würde eine kammförmige Gestalt haben, etwa wie die Curve $k_I\ k_{III}$ in Fig. 89. Taf. I. Bd. II, allein statt auf die Gerade θt, auf die Gerade $+k = const.$ als Abscissenaxe bezogen.

(u) Erklärung der absolut negativen Schwankung des Muskelstromes bei der Zusammenziehung im parelektronomischen Zustande.

Durch die Ergebnisse dieser neuen Versuche stellt sich die negative Schwankung des Muskelstromes als eine absolut negative dar, d. h. als eine solche, die selbst dann negativ bleibt, wenn auch der ursprüngliche Strom sich in's Negative verkehrt hat. Man erinnert sich, dafs wir zu demselben Ergebnifs bereits für die negative Schwankung des Nervenstromes gelangt sind, welche die heftige und andauernde Innervation begleitet. S. oben Abth. I. S. 553. 564. Ich habe damals bereits angedeutet, dafs wir, in Betreff der Muskeln, das Gleiche finden würden, und beide Thatsachen als gleichbedeutend angesprochen. Indessen war ich zu jener Zeit in das Wesen des parelektronomischen Zustandes der Muskeln noch nicht tief genug eingedrungen. Ich hatte insbesondere diesen Zustand noch nicht als einen solchen des alleinigen natürlichen Querschnittes aufgefafst, sondern ich stellte mir noch vor, der Muskel befinde sich dabei durch und durch im unwirksamen oder im negativ peripolaren Zustande, und der Strom des künstlichen Querschnittes entwickele sich nur äufserst schnell durch unbekannte Umstände, während der des natürlichen Querschnittes dazu mehr Zeit bedürfe (Vergl. oben S. 75. 112).

Digitized by Google

Diese Voraussetzung hat jetzt weichen müssen, und wir wissen nun, dafs der unwirksame oder negativ wirksame Zustand, in den die Nerven und auch die Muskeln unter Umständen durch allerhand Mifshandlungen gerathen, und der beim ersten Anblick ihm ähnliche, in den die Muskeln durch die dauernde Einwirkung der Kälte verfallen, wesentlich von einander verschieden sind. Im ersten Fall ist wirklich durch die ganze Masse der thierischen Erreger eine verschiedene Anordnung der elektromotorischen Molekeln eingetreten, was sich daraus ergiebt, dafs jeder neue künstliche Querschnitt sich unwirksam oder positiv verhält. Im zweiten Falle lassen sich die Erscheinungen nur unter der Voraussetzung erklären, dafs im Inneren des Muskels überall die gewöhnliche, positiv peripolare Anordnung herrsche, dafs aber der natürliche Querschnitt der Sitz einer abweichenden Lagerungsweise der elektromotorischen Molekeln sei.

Demgemäfs gestalten sich denn auch die Schlüsse verschieden, die wir in beiden Fällen in Betreff des eigentlichen elektromotorischen Vorganges während des Tetanisirens zu ziehen haben. Was die absolut negative Schwankung des Stromes an dem negativ wirksamen Nerven betrifft, so ist nicht anders zu sagen, als dafs der Nerv während der Innervation noch stärker negativ thätig wird, es sei denn, dafs man annehme, dafs in diesem Falle die negative Schwankung nur von einzelnen Primitivröhren ausgeht, die der Stromesumkehr noch nicht unterworfen sind. Keinesweges aber pafst diese Schlufsfolge ohne weiteres auf den im parelektronomischen Zustande befindlichen Muskel, der entweder unwirksam oder negativ wirksam aufliegt, und, bei der Zusammenziehung, plötzlich negative Kräfte zu entfalten scheint.

Man stelle sich nämlich den Muskel vor, seine Molekeln durch und durch in positiv peripolarer Anordnung, nur am natürlichen Querschnitt eine Schicht Molekeln befindlich, die zum Theil positive Pole nach aufsen kehren. Je nach dem Verhältnifs der Zahl der Punkte des Querschnittes, die solchergestalt positiv wirken, zu der der Punkte, wo die negative Wirksamkeit der zunächst darunter liegenden Schicht positiv peripolarer Gruppen zur Geltung kommt, erscheint der Muskel, unserer durch die Versuche am Kupferzinkschema beglaubigten Theorie des parelektronomischen Zustandes gemäfs, positiv wirksam, unwirksam, oder negativ wirksam (Vergl. oben S. 100). Es fragt sich nun, welche Veränderungen werden eintreten müssen, damit der Muskel plötzlich entweder negativ wirksam werde, oder, wenn er dies schon vorher war, mit verstärkter Kraft negativ wirke.

Zunächst ist leicht zu sehen, dafs, sobald man annimmt, dafs die parelektronomische Schicht Antheil nimmt an der Veränderung, welche

Digitized by Google

man in der Masse des Muskels voraussetzt, es nicht gelingt, zu einer befriedigenden Deutung der Erscheinungen zu gelangen. Läfst man nämlich, um die negative Schwankung zu erklären, den Muskel und gleichzeitig jene Schicht bei der Zusammenziehung an elektromotorischer Kraft verlieren, oder diese Kraft ganz und gar einbüfsen, so wird die Folge unter allen Umständen eine relativ negative Schwankung sein, d. h. es wird, wenn bereits positiver oder negativer Strom vorhanden ist, eine entsprechende Verminderung desselben eintreten; wenn aber der Muskel unwirksam ist, wird die Nadel auch beim Tetanisiren auf Null bleiben. Läfst man den Muskel, und gleichzeitig die parelektronomische Schicht ihre Kraft im Tetanus, statt blofs einbüfsen, vielmehr umkehren, gleichviel ob diese Kraft nach der Umkehr eine geringere oder die nämliche Gröfse erreiche als vorhin, so wird der Erfolg in allen drei Fällen noch immer derselbe, nämlich eine relativ negative Schwankung sein. Ist der ursprüngliche Strom Null, so bleibt auch hier die Nadel auf Null; ist bereits entweder positiver oder negativer Strom vorhanden, so mufs sie dem Nullpunkt zueilen, aber mit gröfserer Heftigkeit als bei Voraussetzung allein einer Kräfteabnahme des Muskels zusammen mit der parelektronomischen Schicht.

Nichts von alledem trifft in Wirklichkeit zu. Versuchen wir daher einmal jetzt, wie sich die Dinge gestalten mögen, wenn wir uns denken, die Kräfte der parelektronomischen Schicht blieben bei der Zusammenziehung unverändert. Auf der Stelle ist jede Schwierigkeit beseitigt.

Damit der Muskel, im Tetanus, eine absolut negative Schwankung zeige, ist es nöthig und zureichend, dafs sein Querschnitt im Ganzen genommen positiver werde. Ein Theil dieses Querschnittes besitzt nun schon, wie wir jetzt annehmen, eine unveränderliche Positivität. Es ist derjenige, der mit der parelektronomischen Schicht bekleidet ist. Soll also der Querschnitt, in seiner Gesammtheit, positiver werden, so genügt es, dafs die übrigen Punkte desselben entweder weniger negativ, oder neutral oder gar selber positiv werden. Dies wird die Folge davon sein, dafs der Muskel, abgesehen von der unveränderlichen parelektronomischen Schicht, beziehlich an Wirksamkeit abnimmt, ganz unwirksam wird, oder gar negativ zu wirken beginnt, immerhin bis zu dem Grade, bis zu dem er im ruhenden Zustande mit künstlichem Querschnitt positiv wirksam ist.

So werden wir zu der merkwürdigen Einsicht geführt, dafs die parelektronomische Schicht an dem Molecularmechanismus der Zusammenziehung keinen Antheil hat. Mit diesem Ergebnifs stimmt augenscheinlich die oben S. 144. 145 erwähnte Thatsache, dafs der Tetanus die

Digitized by Google

Entwickelungsstufe des Stromes des natürlichen Querschnittes unverändert läfst. Zwar könnte man sich auch vorstellen, dafs sich aus jeder einzelnen Zuckung die ursprüngliche Anordnung der Kräfte am natürlichen Querschnitt stets genau wiedergebiert. Einfacher jedoch ist es jedenfalls sich zu denken, wozu wir jetzt also ohnehin gedrängt werden, dafs die elektromotorischen Molekeln, die die parelektronomische Schicht ausmachen, bei der Zusammenziehung überhaupt gar nicht betheiligt sind.

(m) Folgerungen aus dem Vorhergehenden für die Frage, ob der Muskelstrom bei der Zusammenziehung nur abnehme oder sich umkehre.

Nachdem wir, im vierten Kapitel dieses Abschnittes, die Erscheinung des secundären Tetanus entdeckt hatten, schlossen wir, dafs die gleichzeitig sich am Multiplicator kundgebende Abnahme des Stromes möglicherweise ein ganz trüglicher Anschein sei. Der secundäre Tetanus beweist uns, dafs die negative Schwankung keine stetige sei, sondern sich zusammensetzt aus einer dichtgedrängten Reihe kurzer und schneller Schwankungen im negativen Sinne. Die Curve des Muskelstromes bezogen auf die Zeit mufs im Tetanus die Gestalt eines Kammes haben, dessen Zähne gegen die Abscissenaxe gekehrt sind. Völlig ungewifs aber bleibt man über die Tiefe, bis zu welcher, in Bezug auf die Abscissenaxe, die Spitzen dieser Zähne reichen. Sie können nicht bis zur Axe reichen; sie können sie erreichen; sie können aber auch darüber hinausgehen, und zwar immerhin so weit, dafs eine vollständige Umkehr des Muskelstromes dadurch zu Stande kommt. Alle diese Fälle sind denkbar, und der elektromagnetische Stromprüfer vermag sie ebensowenig von einander zu unterscheiden, als von dem Falle der stetigen Abnahme des Stromes, der aber durch die Erscheinung des secundären Tetanus ausgeschlossen ist (S. oben Abth. I. S. 90. 120. 142. 447. 528. Fig. 89. Taf. I).

Natürlich hatten wir in der Beantwortung der Frage, welcher von diesen Fällen denn nun in der Wirklichkeit stattfinde, sofort eine der wichtigsten uns gestellten Aufgaben erkannt. Auf folgende Weise suchten wir diese Aufgabe zu lösen.

Darauf verzichteten wir von vorn herein, auszumachen, ob, in dem Fall der Muskel bei der Zusammenziehung nicht negativ wirksam würde, sein Strom nur abnehme, oder ganz verschwinde, und ob, in dem Fall der Muskel negativ wirksam würde, sein Strom dieselbe Höhe im negativen Sinne erreiche, die er während der Ruhe im positiven Sinne besitzt, oder nicht. Zu einer solchen Entscheidung würden

Digitized by Google

messende Versuche gehören, an deren Ausführung wir nicht denken konnten.

Unthunlich schien uns dagegen nicht, zu entscheiden zwischen den beiden Möglichkeiten, ob die Curve der Muskelstromstärken bezogen auf die Zeit im Augenblick der Zuckung diesseits der Abscissenaxe bleibe, oder sie überschreite. Dazu schien uns nichts weiter nothwendig als den Versuch zu machen, den Muskelstrom in den Multiplicatorkreis aufzunehmen immer nur in dem Augenblick der Zusammenziehung. Erfolgte alsdann ein Ausschlag in negativer Richtung, so meinten wir, würde dies den Beweis dafür liefern, dafs sich der Muskelstrom bei der Zusammenziehung wirklich umkehre.

Unsere Bemühungen zu diesem Zwecke schlugen bekanntlich fehl. Wir bekamen, mit Hülfe der damals ersonnenen Versuchsweisen, keinen negativen Ausschlag zu sehen. Dieser verneinende Erfolg durfte begreiflich nicht ohne Weiteres so gedeutet werden, als sei nun ausgemacht, dafs der Muskelstrom bei der Zusammenziehung positiv bleibe. Vielmehr konnte dieser Erfolg eben so gut zur Last gelegt werden der Unvollkommenheit der Mittel, die wir angewendet hatten, um die negative Wirkung im Augenblick der Zusammenziehung zu sondern von der positiven Wirkung während der Ruhe des Muskels. Auch erklärten wir sogleich diese Untersuchung nicht für abgeschlossen, sondern nur für vertagt auf eine spätere Gelegenheit (S. oben ebendas. S. 126).

Jetzt finden wir uns unerwartet darauf zurückgeführt. Und man könnte beim ersten Anblick glauben, wir seien nun zur Entscheidung gelangt, nach der wir damals strebten. Dem Anschein nach hat sich uns das Ergebnifs, von dem wir diese Entscheidung erwarteten, jetzt unverhofft und mühelos in die Hände gespielt. Wir erhalten, so oft wir wollen und bei Ausschlufs der Ladungen, negative Ausschläge von den Gastroknemien bei der Zusammenziehung, und es bedarf dazu gar nicht erst der künstlichen Aussonderung der Wirkung des zusammengezogenen Muskels. Die negative Wirkung bei der Zusammenziehung übertrifft hinreichend die während der Ruhe, um einen tetanisirten Muskel negativ wirksam erscheinen zu lassen, wofern nur der Muskel vorher der Kälte ausgesetzt war, so dafs seine parelektronomische Schicht höher entwickelt worden ist, und wofern er nur so in den Multiplicatorkreis gebracht wird, dafs er vor Entwickelung seines positiven Stromes geschützt ist.

Indessen bei näherer Betrachtung sieht man bald, dafs diese Schlufsfolge fehlerhaft ist. Es zeigt sich ganz im Gegentheil nicht allein, dafs durch unsere jetzigen Beobachtungen jene schweben gebliebene Frage nicht erledigt ist, sondern es ergiebt sich auch daraus, dafs sie auf

Digitized by Google

dem Wege, den wir damals einschlugen, wenigstens ohne Zuhülfenahme fernerer Betrachtungen und experimenteller Kunstgriffe, gar nicht erledigt werden könne. Der negative Ausschlag der tetanisirten Gastroknemien beweist nicht mehr, wie wir damals zu glauben berechtigt waren, dafs der Muskelstrom bei der Zusammenziehung sich umkehrt. Durch die Entdeckung der parelektronomischen Schicht hat er in dieser Angelegenheit die entscheidende Stimme eingebüfst. Er hat fortan nicht mehr zu bedeuten als der Ausschlag, der in einem Kreise, in dem zwei Muskeln, oder ein Muskel und eine Kette von beständiger Kraft sich das Gleichgewicht halten, im negativen Sinne des tetanisirten Muskels, im positiven des ruhenden oder im Sinne der Kette von beständiger Kraft erfolgt.

Nach dem in der vorigen Nummer (u) gesagten bedarf dies kaum einer Erläuterung. Sei m die positive Kraft des ruhenden Muskels abgesehen von der parelektronomischen Schicht, p die negative Kraft dieser Schicht, $m > p$. Der ruhende Muskel nebst der Schicht übt also in der Zeiteinheit eine dem Unterschiede $m - p$ proportionale elektromagnetische Wirkung im positiven Sinne aus (Vergl. oben S. 127). Sei ferner m' die nach Zeichen und Gröfse unbekannte Kraft, mit der der Muskel, ohne die Schicht, im Augenblick der Zusammenziehung wirksam ist, t der Bruchtheil der Zeiteinheit, der durch die Stöfse ausgefüllt wird, aus denen sich der Tetanus zusammensetzt, r der übrige Bruchtheil der Zeiteinheit, der die Zwischenzeiten der Ruhe umfafst ($t + r = 1$). Die elektromagnetische Wirkung, die der Muskelstrom im Tetanus während der Zeiteinheit ausübt, ist alsdann proportional der Summe

$$(m' - p)\,t + (m - p)\,r. \qquad \text{(I)}$$

Es ist klar, dafs dieser Ausdruck auch für positive Werthe von m' negativ werden kann, sobald nur p hinlänglich grofs, m' und $r : t$ hinlänglich klein genommen werden. Keineswegs braucht dazu m' selber negativ zu sein. Dies ist die Zergliederung unseres neuen Versuches, wo zwar m' und $r : t$ denselben Werth gehabt haben mögen wie bei den älteren, wo aber p viel gröfser war. Daher der verschiedene Erfolg, der aber sofort in jenen früheren zurückfiel, sobald wir, durch die bekannten Kunstgriffe, den Werth von p gehörig herabsetzten (S. oben S. 144).

Sehen wir nun zu, was geschehen würde, wenn es uns gelänge, die Reihe der negativen Stöfse im Tetanus wirklich genau auszusondern. Wir würden eine Wirkung erhalten proportional

$$(m' - p)\,t. \qquad \text{(II)}$$

Augenscheinlich wird bei gleichem Werth von p dieser Ausdruck bereits für ein gröfseres positives m' negativ werden als der (I), da das

Digitized by Google

unveränderlich positive zweite Glied aus diesem letzteren hinweggefallen ist. Aber wenn m' sollte gleich Null sein, so mufs sogar der Ausdruck (II) unter allen Umständen negativ werden, sobald nur p den geringsten Werth hat.

Die Leichtigkeit, mit der die secundäre Zuckung vom Muskel aus erfolgt, läfst schliefsen, dafs m', wenn es ja einen positiven Werth besitzt, doch jedenfalls nur sehr klein sein kann. Es ist folglich nicht zu bezweifeln, dafs es wirklich nur an der Unvollkommenheit unseres Verfahrens lag, wenn es uns, bei unseren früheren Versuchen, nicht gelang, negative Ausschläge von den Muskeln in den ausgesonderten Augenblicken der Zusammenziehung zu erhalten. Allein wenn uns dies gelungen wäre, und wir hätten, wie wir damals nicht anders konnten, daraus geschlossen auf den negativen Werth von m', so würde dies, wie man jetzt sieht, ein Fehlschlufs gewesen sein. Jene negative Wirkung könnte zwar die Summe sein des negativen p und eines negativen m'. Aber es bliebe noch immer die Aufgabe ungelöst, zu entscheiden zwischen dieser Möglichkeit und derjenigen, dafs m' Null sei oder gar einen kleinen positiven Werth besitze. Die Erörterung der Frage, welche Aussichten jetzt noch übrig bleiben für die Lösung dieser Aufgabe, und die Verwirklichung der Methoden, auf welche uns diese Erörterung etwa führen sollte, behalten wir einem späteren Orte vor.

(IV) Von der negativen Nachwirkung des Tetanisirens der Muskeln auf ihren Strom.[1]

Die Untersuchung der negativen Schwankung des Muskelstromes bei der Zusammenziehung an stark parelektronomischen Muskeln ist geeignet, eine Besonderheit jener Erscheinung erkennen zu lassen, die uns in unseren früheren, an minder stark parelektronomischen Muskeln angestellten Versuchen, nothwendig entgangen war. Wir haben uns nämlich bisher stets vorgestellt (Vergl. Fig. 89. Taf. I dieses Bandes), dafs die Curve des Muskelstromes bezogen auf die Zeit, in den Zwischenräumen zwischen den einzelnen Stöfsen, aus denen sich der Tetanus zusammensetzt, wie auch sofort nach Beendigung des Krampfes, diejenige Höhe wieder ersteige, die ihr im Ruhezustande des Muskels zukommt. Dem ist jedoch nicht so, wie aus folgenden Versuchen hervorgeht.

Bei Gelegenheit einer Versuchsreihe, deren eigentlicher Zweck nachmals aufgegeben wurde, kam ich in den Fall, das eine Bein ächter Galvani'scher Präparate (S. oben Bd. I. S. 467) im parelektronomi-

[1] S. du Bois-Reymond in Comptes rendus etc. 8 Avril 1850. t. XXX. p. 408; — Annales de Chimie et de Physique. Octobre 1850. 3. Série. t. XXX. p. 186.

Digitized by Google

schen Zustande vom Rückenmark aus bis zur Erschöpfung zu tetanisiren, während das andere Bein in Ruhe blieb, dessen Sitzbeinnerv nämlich durchschnitten war. Sobald das tetanisirte Bein auch auf die stärksten Schläge meiner älteren Inductionsvorrichtung (S. oben Bd. I. S. 447) vom Rückenmark aus Zuckungen versagte, wurde auch sein Sitzbeinnerv zerschnitten, und somit das ächte Galvani'sche Präparat in unser unächtes verwandelt (S. oben Bd. I. a. a. O.). Alsdann prüfte ich schnell nacheinander jedes der beiden Beine am Multiplicator auf die Stärke seines Stromes, ohne dabei die Beine durch Spaltung des Beckens in der Längsmittelebene von einander zu trennen. Dies geschieht leicht, indem man sich des Beines, dessen Fufs gerade nicht eingetaucht werden soll, als einer Handhabe bedient, um das beiden Beinen gemeinschaftliche Beckenende des Präparates in dem entsprechenden Zuleitungsgefäfs zu regieren. Um das nicht einzutauchende Bein dabei vollends vor jeder leitenden Verbindung mit der Vorrichtung, wie auch vor Benetzung mit Kochsalzlösung zu sichern, schlägt man es in eine nichtleitende wasserdichte Hülle von Kautschuk oder Guttapercha ein.

Ich fand nun, zu meinem Erstaunen, sehr regelmäfsig, dafs die ersten Ausschläge vom tetanisirten Beine sich weit unter denen vom ruhig gebliebenen Beine hielten; ja dafs meistens das tetanisirte Bein einen absteigenden Ausschlag gab, während doch die Frösche, von denen diese Präparate herrührten, nur im Eiskeller erkältet waren, was gemeiniglich noch keine negative Wirksamkeit bedingt (Vergl. oben S. 131). In vier Versuchen gaben z. B. die in Ruhe gebliebenen Beine die ersten Ausschläge + 19°; + 40°; + 17°; + 50°; die tetanisirten die ersten Ausschläge — 19°; — 10°; — 2°; + 15°. Wurden darauf die Beine der Benetzung mit der Kochsalzlösung der Gefäfse bei wiederholtem Auflegen preisgegeben (S. oben S. 34. 47. 48), so holte der positive Strom des tetanisirten Beines schnell den des in Ruhe gebliebenen ein. Dafs die gleichnamigen Muskeln der beiden Beine sich auf einer beträchtlich verschiedenen Stufe des parelektronomischen Zustandes befinden, ist, wie man sich erinnert, an und für sich nichts ungewöhnliches (S. oben S. 126. 140). Allein dafs hier dem in Ruhe gebliebenen Beine beständig ein positives Uebergewicht zukam, und zwar ein viel zu bedeutendes, um es blofs auf Rechnung der durch den Tetanus bewirkten Erschöpfung bringen zu können, dies schien darauf zu deuten, dafs der Tetanus, auch über seine eigene Dauer hinaus, eine Veränderung des Stromes im negativen Sinne bedinge.

Aehnliche Erfahrungen machte ich an den Galvani'schen Präparaten parelektronomischer Frösche, die durch Gehirnerschütterung getödtet

Digitized by Google

und in Folge dessen in Tetanus verfallen waren (S. oben Bd. I. S. 459. Bd. II. Abth. I. S. 32). Hier entbehrte ich indefs der Bürgschaft, welche in den vorigen Versuchen aus dem Zustande des einen Beines für das Ungewöhnliche des Zustandes des anderen Beines hervorging. Es konnte mir nur auffallen die im Verhältnifs zur erlittenen Kälte ungewöhnlich tiefe Entwickelungsstufe der positiven Wirksamkeit, auf der ich das Präparat bei der ersten Prüfung dem Anscheine nach fand. Um nun hierüber in's Reine zu kommen, wurde folgendermafsen verfahren.

Ein im parelektronomischen Zustande stromloser oder schwach positiv wirksamer Gastroknemius, dem sein Sitzbeinnerv gelassen war, wurde in der kleinen Streckvorrichtung auf die oben S. 143 beschriebene Art mäfsig ausgespannt und zwischen die Zuleitungsbäusche in den Multiplicatorkreis gebracht. Entweder war dieser offen an einer Stelle, wo sich ein Quecksilbernapf mit verquicktem Schliefsungshaken befand, um ihn rasch und sicher schliefsen zu können (S. oben Abth. I. S. 424. 425), oder es wurden die Zuleitungsbäusche neben dem Gastroknemius mit dem Schliefsungsbausch überbrückt. Schlofs man entweder den Multiplicatorkreis oder entfernte man den Schliefsungsbausch, je nachdem die eine oder die andere von diesen Anordnungen getroffen war, so gab sich also an der Nadel die elektromotorische Wirkung des Gastroknemius zu erkennen.

Der Sitzbeinnerve des Gastroknemius lag auf den Blechen der stromzuführenden Vorrichtung auf. Diese stellten die Enden der inducirten Rolle meines Schlitten-Magnetelektromotors vor (S. oben Abth. I. S. 48. Anm. 1. S. 393. Anm. 1). Die Feder des Magnetelektromotors spielte; allein der inducirende Kreis war an einer Stelle geöffnet, wo sich, wie in dem Multiplicatorkreise bei der einen der beiden beschriebenen Anordnungen, ein Quecksilbergefäfs mit verquicktem Schliefsungshaken befand. Auch war die inducirte Rolle des Magnetelektromotors auf ihrem Schlitten hinlänglich weit von der inducirenden entfernt, damit keine unipolaren Inductionszuckungen eintreten konnten.

War alles auf diese Weise vorgerichtet, und hatte ich, sei's durch Schliefsen des Multiplicatorkreises bei der einen, sei's durch Abheben des Nebenschliefsungsbausches bei der anderen Anordnung, mich von dem Grade der Wirksamkeit des Gastroknemius genau unterrichtet, so schlofs ich, im ersten Fall bei wiederum entladenen metallischen Multiplicatorenden und geöffnetem Multiplicatorkreise, im zweiten bei wiederum aufgelegtem Schliefsungsbausche, den inducirten Kreis des Magnetelektromotors, und tetanisirte den Gastroknemius einige Zeit lang. Mitten im Tetanus durchschnitt ich plötzlich, mit einer kleinen Cooper-schen Scheere, den Nerven zwischen dem Muskel und den Platinblechen

Digitized by Google

der stromzuführenden Vorrichtung,[1] und schloſs den Augenblick darauf den Multiplicatorkreis oder hob den Schliefsungsbausch ab.

Obschon der Muskel nach Durchschneidung des Nerven sofort völlig erschlaffte, erhielt ich nun stets einen negativen Ausschlag, bis zu einer gewissen Grenze um so gröfser, je länger ich den Gastroknemius tetanisirt hatte. Der Ausschlag ist kleiner als der, den der parelektronomische Muskel während des Tetanus selber in gleichem Sinne giebt. Er beträgt am Multiplicator für den Muskelstrom nur etwa 5—10°, und der Versuch wird daher mit Vortheil an dem Multiplicator für den Nervenstrom angestellt. Die somit dargelegte Nachwirkung des Tetanisirens auf den Muskelstrom nimmt, wenigstens in den ersten Augenblicken, sehr schnell an Gröfse ab. Läfst man einige Minuten verstreichen, ehe man den Multiplicatorkreis wieder schliefst oder den Nebenschliefsungsbausch wieder abhebt, so findet man nur noch eine Spur davon vor. Diese Spur aber erweist sich als ziemlich hartnäckig.

Es versteht sich von selber, dafs die Erscheinung der Nachwirkung des Tetanus nichts zu schaffen hat mit dem parelektronomischen Zustande. Die Nachwirkung findet nicht minder statt, wenn die parelektronomische Schicht nicht so hoch entwickelt ist, wie in den vorigen Versuchen, oder wenn sie ganz entfernt ist, d. h. wenn der Muskel mit künstlichem Querschnitt wirksam ist. Wenn nichtsdestoweniger an dieser Stelle von der Nachwirkung gehandelt worden ist, so ist dies deshalb geschehen, weil an den im parelektronomischen Zustande stromlosen oder nur schwach positiv wirksamen Muskeln sich eine so günstige Gelegenheit bietet zur Beobachtung der Nachwirkung, dafs sie ihrer Geringfügigkeit ungeachtet daran in die Augen fallen konnte. Der Grund davon ist leicht einzusehen.

Wendet man nämlich die beschriebenen Versuchsweisen auf Muskeln an, die am Multiplicator für den Muskelstrom 15—30° positiven

[1] Anstatt den Nerven zu durchschneiden, hätte ich auch blofs den inducirten Kreis öffnen oder den Nerven von den Blechen abheben können. Gegen das blofse Oeffnen des inducirten Kreises ist zu bemerken, dafs der letzte Inductionsstrom der Zahl nach ein ungerader gewesen sein kann. Er läfst alsdann die Platinbleche polarisirt zurück und zwar die verschiedenen Punkte jedes Bleches in verschiedenem Mafse. Durch das Sinken dieser Ladung kann also noch nach dem Oeffnen des inducirten Kreises eine Erregung des Nerven stattfinden. Vor dem Abheben des Nerven aber gab ich dem Durchschneiden den Vorzug aus dem Grunde, weil es schneller gethan ist, da man den abgehobenen Nerven nothwendig erst noch irgendwohin betten mufs, und weil die unmittelbar vom Strom betroffene Strecke häufig in einem so gereizten Zustande zurückbleibt, dafs sie selbst nach Aufhören des Stromes noch Zuckungen vermittelt. Ohnehin mufs man doch, wenn man den Versuch an demselben Muskel wiederholen will, mit dem Nerven an den Platinblechen hinaufrücken, so dafs an der einmal bis zur Erschöpfung tetanisirten Strecke nichts verloren ist.

Digitized by Google

Ausschlages geben, so gelingt es noch, die Nachwirkung mit ziemlicher Sicherheit zu beobachten. Freilich darf man sich nicht auf die Beobachtung der Abnahme des Stromes nach dem Tetanisiren beschränken, da seine Stärke auch sonst Senkungen ausgesetzt ist. Vielmehr ist die Nachwirkung erst dann als erwiesen zu betrachten, wenn man das Wiederanschwellen des Stromes beobachtet hat. Je gröfser aber die ursprüngliche Stromstärke des Muskels wird, um so mehr verschwindet dagegen die kleine Veränderung, die durch die Nachwirkung bedingt wird, so dafs sie sich zuletzt der Beobachtung entzieht.

Vollends ist dies der Fall bei Ableitung des Stromes vom künstlichen Querschnitt. Hier tritt noch die Schwierigkeit hinzu, dafs der Strom lange Zeit nach dem Auflegen im Sinken begriffen ist, so dafs man zwischen zwei Uebelständen zu wählen hat; nämlich will man warten, bis der Strom beständig geworden ist, zwischen der Gefahr, dafs der Muskel zu sehr an Leistungsfähigkeit einbüfst; und, will man früher tetanisiren, der anderen Gefahr, dafs das Sinken des Stromes sein Wiederanschwellen verdeckt. Und doch würde es um so wichtiger sein, bei künstlichem Querschnitt die Nachwirkung zu beobachten, als dadurch zwischen zwei Vorstellungen entschieden werden würde, die man sich von dem Wesen der Nachwirkung machen kann. Man kann sich nämlich denken, dafs sie beruht auf einer Schwächung der elektromotorischen Kraft des ganzen Muskels mit Ausnahme der parelektronomischen Schicht, die, wie wir wissen, an dem Molecularmechanismus der Zusammenziehung keinen Antheil hat (S. oben S. 147). Dies ist die einfachste und natürlichste Vorstellungsweise, wobei die Nachwirkung mit der gleichsinnigen Stromesschwankung während des Tetanus selber in deutliche Beziehung gesetzt erscheint. Die Nachwirkung würde sich aber auch physikalisch ebensogut begreifen lassen aus der Annahme einer vorübergehenden Erhöhung der Kraft der parelektronomischen Schicht. Auch für die negative Schwankung, welche die Zusammenziehung selber begleitet, würde jetzt, wo wir die parelektronomische Schicht kennen gelernt haben, die nämliche Zweideutigkeit obwalten, wenn wir nicht bereits im vierten Kapitel (S. oben Abth. I. S. 85) in Erfahrung gebracht hätten, dafs die negative Schwankung ebensowohl stattfindet bei Ableitung des Stromes vom künstlichen, als bei Ableitung vom natürlichen Querschnitt. Den gleichen Beweis nun auch für die Nachwirkung geführt zu sehen, wäre augenscheinlich höchst wünschenswerth.

Um die Nachwirkung auch bei so grofser Stärke des ursprünglichen Stromes sichtbar zu machen, dafs ihre eigene negative Stärke dagegen verschwindet, versuchte ich zuerst die Methode der Compen-

Digitized by Google

sation. Der compensirende Muskel sollte nämlich jetzt an die Stelle der parelektronomischen Schicht treten, welche den Strom des übrigen Muskels compensirt und deren eigene elektromotorische Wirkung bei der Zusammenziehung beständig bleibt. Es wurde sonst am Verfahren nichts geändert. Beiden einander compensirenden Muskeln waren ihre Sitzbeinnerven gelassen, und es wurde stets derjenige tetanisirt, dessen Strom während der Ruhe beider die Oberhand hatte. Es mufste alsdann, bei erneuerter Beobachtung unmittelbar nach abgebrochenem Tetanus, die Oberhand auf den in Ruhe gebliebenen Muskel übergegangen sein oder wenigstens es mufste der Differentialstrom an Gröfse abgenommen haben und später wieder daran zunehmen.

Ich stellte den Versuch zuerst an mit zwei Gastroknemien, wovon der eine in der grofsen, der andere in der kleinen Streckvorrichtung ausgespannt war, in der Weise, wie man dies Fig. 88. Taf. I. dieses Bandes sieht (Vergl. oben Abth. I. S. 77). Allein ich erreichte keine so vollkommene Compensation, dafs ich, bei der erhöhten Verwickelung des Versuches, die Nachwirkung hätte mit einiger Sicherheit beobachten können. Noch weniger gelang dies, als ich den Versuch mit der Abänderung wiederholte, dafs die Gastroknemien ihrer sehnigen Ausbreitung beraubt waren, also bis auf eine sehr kleine Stelle an der Achillessehne, mit künstlichem Querschnitt wirkten. Kein Wunder, denn die Zubereitung des künstlichen Querschnittes auf diese Art konnte nicht gleichzeitig stattfinden; sie dauert so lange dafs die an verletzten Muskeln rasch sinkende Leistungsfähigkeit Zeit hat, sich bedeutend zu verringern; endlich sie giebt zu vielen Ungleichmäfsigkeiten Raum. Ich versuchte somit noch eine andere Anordnung mit künstlichem Querschnitt, welche frei war von diesen Uebelständen. Ich liefs zwei Adductor magnus oder Semimembranosus Cuv. einander in der Art entgegenwirken wie man dies Fig. 77. 78. Taf. V. Bd. I. sieht. Den Muskeln waren ihre Nerven erhalten; nachdem ich ihre Ströme gegeneinander abgewogen hatte, tetanisirte ich den stärkeren im offnen Kreise, zerschnitt den Nerven und schlofs. Aber wenn auch bei diesem Verfahren sich das Gleichgewicht etwas vollkommener herausstellte und der Tetanus kräftiger ausfiel als bei dem vorigen, so trat doch nun ein anderer Mifsstand ein, den ich auch vorhergesehen und deshalb der erstbeschriebenen Anordnung mit künstlichem Querschnitt den Vorzug geschenkt hatte. Nämlich der tetanisirte Muskel veränderte bei der Zusammenziehung seine Lage in der Art, dafs das vorher bestandene Gleichgewicht schon dadurch eine ungeheure Störung erlitt, und die gewünschte Wahrnehmung vereitelt wurde.

Es scheint also, dafs auf diesem Wege, mit Hülfe des Verfahrens

Digitized by Google

der Compensation, hier nicht zum Ziele zu gelangen ist. Ich habe daher noch einen anderen Weg aufgesucht, die Nachwirkung an den Muskeln unter allen Umständen aufzuweisen, nicht blofs an solchen, die im parelektronomischen Zustande stromlos oder schwach positiv wirksam sind; und ich habe einen solchen Weg auch glücklich ausfindig gemacht. Es ist kein anderer, als der, auf dem wir uns anfangs schon befunden haben, und darauf zur Entdeckung der Nachwirkung gelangten, nur mit der Abänderung, dafs man die Muskeln nicht von den Nerven aus, sondern unmittelbar durch den Strom, bis zur Erschöpfung tetanisirt. Der Muskelstrom erscheint alsdann aufserordentlich geschwächt, wie es denn durch fortgesetztes Tetanisiren gelingt, ihn gänzlich zu vernichten (Vergl. oben Abth. I. S. 182). Untersucht man aber die Muskeln vom Augenblick ab, wo der Tetanus aufhörte, in regelmäfsigen Zeiträumen, so findet man, dafs der Strom erst zunimmt, um sich dann erst wieder dauernd zu senken; eine Erscheinung, die nur auf die Nachwirkung gedeutet werden kann. Ich unterlasse es jedoch an dieser Stelle, die Einzelheiten der Versuche mitzutheilen, weil sich nämlich Einwände dawider erheben lassen, zu deren Verständnifs, vollends ihrer Beseitigung, uns hier noch die thatsächliche Grundlage fehlt. Dazu ist nothwendig, dafs wir uns erst mit jener besonderen Wirkungsweise des Stromes auf die Muskeln bekannt gemacht haben, deren schon oben Abth. I. S. 331. Abth. II. S. 71 gedacht worden ist, von der aber erst in dem vierten Paragraphen dieses Kapitels ausführlich gehandelt werden soll. Alsdann wird auf die hier in Rede stehenden Versuche zurückgekommen, und die Nachwirkung des Tetanus auf den Strom an den Muskeln unter allen Umständen, auch bei Ableitung des Stromes vom künstlichen Querschnitt aufser Zweifel gesetzt werden. Die oben S. 155 erwähnte Frage nach der wahren Bedeutung der Nachwirkung, ob sie beruhe auf einer Verminderung der elektromotorischen Kraft des Muskels mit Ausschlufs der parelektronomischen Schicht, oder auf einer vorübergehenden Erhöhung der Kraft dieser Schicht allein, ist somit zu Gunsten der erstern Ansicht zu entscheiden. Die Nachwirkung ist die stetige schwache Fortsetzung der flüchtigen starken negativen Schwankung, die die Zusammenziehung begleitet.

Wir sind nunmehr in Stande, die Curve des Muskelstromes bezogen auf die Zeit, wie sie sich während des Tetanus gestaltet, richtiger anzugeben, als bisher. S. Fig. 145. Taf. V. Die Abscissenaxe *Ot* bedeutet die Zeit. Da wir die Tiefe noch immer nicht kennen, bis zu der, in Bezug auf diese Axe, die Zähne der kammförmigen Curve reichen, so sind die Spitzen der Zähne in der Figur weggelassen worden. Hier kommt es allein auf die verschiedene Höhe an, aus der, wie

Digitized by Google

wir jetzt wissen, die Zähne des Kammes entspringen. Man sieht, dafs jeder folgende Zahn immer tiefer entspringt als der nächst vorhergehende, oder, was auf dasselbe hinausläuft, aus jedem Absturz, der, mit der darauf folgenden Erhebung, einen Zahn darstellt, erholt sich die Curve zu einer geringeren Höhe. Hört endlich der Tetanus auf, so bleibt eine dauernde Senkung der Curve zurück, die aber schnell und stetig abnimmt, so dafs die Curve, wenn der Tetanus nicht bis zur Erschöpfung dauerte, sich allmälig wieder zu einer Höhe erhebt, die derjenigen wenig nachsteht, die sie vor dem Tetanus besafs.

(v) Von der elektromotorischen Wirkung beim Ausdehnen und Zusammendrücken der Muskeln im parelektronomischen Zustande.

Ich habe die oben Abth. I. S. 129 ff. beschriebenen Versuche mit Gastroknemien im parelektronomischen Zustande wiederholt.

Das Dehnen des Muskels zeigte sich stets begleitet von einer negativen Schwankung, gleichviel ob der Muskel schwach positiv, gar nicht, oder negativ wirksam war. Bei dem Abspannen des gedehnten Muskels aber stellte sich eine Unregelmäfsigkeit ein, die ich nicht zu deuten weifs und ihr auch nicht weiter nachgegangen bin. Sie bestand darin, dafs das Abspannen nicht, wie es hätte sein sollen, stets begleitet war von einem Rückschwung der Nadel im positiven Sinne, sondern dafs es eine fernere negative Bewegung der Nadel zur Folge hatte.

Noch häufiger zeigten sich solche Unsicherheiten im Erfolge beim Zusammendrücken der parelektronomischen Muskeln in den beiden Compressorien. Nur ein paarmal gelang es mir in dem Compressorium senkrecht auf die Faser mich von einem Hervortreten elektromotorischer Kräfte im Augenblicke der Zusammendrückung, welches nur dieser zugeschrieben werden konnte, zu überzeugen. Die Sicherheit der Versuche wurde insbesondere durch den Umstand gefährdet, dafs durch das blofse Verweilen in den Compressorien, sei's in Folge der mechanischen Mifshandlung der Muskeloberfläche, sei's nicht zu vermeidender Verunreinigungen, eine Entwickelung des positiven Stromes vor sich zu gehen schien.

Ich hatte, bei Anstellung dieser Versuche, vorzüglich folgendes im Auge. Es war uns, wie man sich erinnert, nicht vollständig gelungen, den Beweis zu führen, dafs die Stromesschwankungen, welche die durch äufsere Kräfte aufgezwungenen Cohäsionsveränderungen der Muskeln begleiten, wirklich auf Veränderungen der elektromotorischen Kraft des Muskels, nicht auf Widerstandsveränderungen im Muskel beruhen. Ich glaube nun, dafs für diese Art der Verdächtigung, die überhaupt keinen sicheren Grund hat, neue Schwierigkeiten erwachsen aus der Thatsache,

Digitized by Google

dafs an parelektronomischen Gastroknemien die negative Schwankung beim Dehnen z. B. unverändert stattfindet, welches auch Gröfse und Zeichen des ursprünglichen Stromes seien. Denn die einzige Art, diese Erscheinung noch aus einer Widerstandsveränderung zu erklären, würde sein, anzunehmen, dafs eine Nebenschliefsung für den positiven Strom der übrigen Muskelmasse im Augenblicke der Zusammenziehung an Widerstand verliere, und so jenen Strom schwäche, während sie den negativen Strom der parelektronomischen Schicht beständig lasse oder gar ihn steigere. Dies ist, auf an und für sich, wie gesagt, ganz schwankender Grundlage, eine solche Häufung willkürlicher Voraussetzungen, dafs der Nachweis ihrer Nothwendigkeit zur Aufrechterhaltung einer gewissen Annahme, in der That einer Widerlegung dieser Annahme gleichzuachten ist.

13. Erklärung, mit Hülfe des parelektronomischen Zustandes der Muskeln, einiger älteren, fremden und eigenen Wahrnehmungen.

(1) Fremde Erfahrungen, die durch den parelektronomischen Zustand der Muskeln ihre Erklärung finden.

Die Erscheinung des parelektronomischen Zustandes, in seinen verschiedenen Abstufungen, hat schon früher in den Erfahrungen Anderer sowohl als unserer selbst, eine mehr oder weniger bedeutende Rolle gespielt. An diese Punkte mag jetzt zuvörderst erinnert werden.

Oben Bd. I. S. 62. 97 ist ausführlich jener ersten Versuche Galvani's und Aldini's über die Zuckung ohne Metalle gedacht worden, in welchen, um die Zuckung zu erhalten, die Schenkel zuvor in ziemlich concentrirte Seesalzlösung getaucht werden mufsten. Weder Galvani noch Aldini haben versucht die Wirkungsweise der Salzlösung dabei zu erklären. Sie haben sich damit begnügt, einsichtlich zu machen, dafs die Zuckungen bei der Berührung der Nerven und Muskeln nicht von dem durch die Lösung auf die Nerven ausgeübten Reiz herrühren können (S. oben Bd. I. S. 63). Volta hat später jene Wirkungsweise dahin erläutert, dafs die Lösung als Glied einer Kette aus drei feuchten Leitern auftrete, Nerv, Muskel und Lösung. Allein wir werden sogleich sehen, dafs es mindestens ebensonahe liegt, sich zu denken, die zu diesen Versuchen verwendeten Thiere haben sich auf einer ziemlich hohen Stufe des parelektronomischen Zustandes befunden, und die Wirkung der Salzlösung sei darauf hinausgelaufen, ihren Strom zur Entwickelung zu bringen.

Galvani bemerkt noch zu seinen Versuchen, dafs das Eintauchen

Digitized by Google

der Nerven allein in die Kochsalzlösung stärkere Zuckungen gegeben habe, als das Eintauchen der Nerven und Muskeln zugleich, und er giebt davon eine schwer verständliche Erklärung, indem er diesen Umstand zuschreibt einer »certa ... rigidità che acquistano i muscoli tenuti in »detta soluzione, per la quale più difficilmente possono venire a più »stretto contatto tra se le parti integranti degli stessi[1]... Cima hat in neuerer Zeit diese Versuche wiederholt und bestätigt gefunden. Als die zweckmäfsigste Gestalt derselben giebt er an, dafs man, anstatt den Nerven in Salzlösung zu tauchen, mit einem Pinsel den Punkt der Muskeloberfläche, den man mit dem Nerven oder mit dem Stück Wirbelsäule zu berühren gedenke, mit Kochsalzlösung befeuchten solle. Die Verstärkung der Zuckungen durch die Salzlösung leitet Cima davon ab, dafs dadurch die Berührung des Nerven und der Muskeln inniger gemacht werde. Von der gröfseren Wirksamkeit der Benetzung des Nerven allein sagt er: »Sembrami ... doversi ... attribuire a ciò che il muscolo »bagnato presenta uno strato umido più conduttore per il quale scorre »l'elettricità più facilmente senza invadere, diremo, i filamenti nervosi »più profondi, e però senza eccitare il muscolo stesso alla contrazione ec.[2] Also Cima denkt sich die Zuckung rühre her von der elektrischen Erregung der im Muskel selber verzweigten Nerven, da doch Galvani schon wufste, dafs die Empfindlichkeit des nach ihm genannten Präparates eben auf dem Kunstgriff beruhe, den Strom in einer gewissen Strecke seiner Bahn auf die Nerven allein als Leiter einzuschränken (S. oben Bd. I. S. 252. Anm. 1). Die richtige Deutung des in Rede stehenden Umstandes ist vielmehr die, dafs bei der allgemeinen Benetzung des Schenkels mit der Lösung dem Strom von natürlichem Längsschnitt zum natürlichen Querschnitt eine allzugünstige Nebenschliefsung in Bezug auf den Nerven als Hauptleitung dargeboten wird (Vergl. oben S. 47. 57, und an vielen anderen Stellen).

Die Entwickelung des Stromes im parelektronomischen Zustande durch Anätzen des natürlichen Querschnittes giebt ferner den Schlüssel zu der Behauptung Volta's, die in der Geschichte der thierischen Elektricität eine so grofse Rolle gespielt hat, dafs man, um die Zuckung ohne Metalle leichter zu erhalten, nicht allein am Unterschenkel die Achillessehne zu berühren habe, sondern dafs die Berührungsstelle auch noch benetzt sein müsse mit irgend einer leitenden Flüssigkeit, Salzwasser, Speichel, Blut, Harn, Schleim, verschiedenen Pflanzensäften, besser mit Seifenwasser, und am besten mit stark sauren oder alkali-

[1] Opere edite ed inedite del Prof. Luigi Galvani ec. Bologna 1841. 4°. p. 213.
[2] Saggio storico-critico ec. Ivi, p. 429. 430.

Digitized by Google

schen Flüssigkeiten (S. oben Bd. I. S. 72. 74. 90. 482. 483. 526). Es war dies gewissermafsen eine Verallgemeinerung der eben erinnerten Beobachtung Galvani's und Aldini's. Volta dachte sich, als Grund davon, die Nothwendigkeit der Berührung mindestens dreier ungleichartiger Stoffe, damit ein Strom erzeugt werde. In dem Fall, wo der Nerv selber mit dem Unterschenkel in Berührung gebracht wird, ist diese Bedingung zwar bereits erfüllt, wenn der Nerv die Achillessehne trifft; die drei ungleichartigen Stoffe sind alsdann der Nerv, die Sehne und das Muskelfleisch. Etwas anders ist es in dem Falle, den Volta vornehmlich im Sinne hatte, wo das nur noch durch den Ischiadnerven mit dem Rumpf zusammenhängende Bein gegen den Rumpf umgebeugt wird. Alsdann fehlt zwischen der Achillessehne und den Rumpfmuskeln, nach Volta's Vorstellungsweise, der dritte ungleichartige Stoff, und soll, auf die angegebene Art, herbeigeschafft werden.

Wir wissen bereits, dafs Volta sich irrte, wenn er die besondere Wirksamkeit der Berührung der Achillessehne auf Rechnung einer elektromotorischen Kraft schob, die durch die Berührung von Sehne und Muskel erzeugt wird. Wir haben gefunden, dafs die Gewebe, sofern sie sich mit ihren natürlichen Flächen berühren, sich gleichartig unter einander verhalten (S. oben Bd. I. S. 481. Bd. II. Abth. I. S. 207). Jene besondere Wirksamkeit beruht vielmehr allein auf dem Umstande, dafs die Achillessehne den natürlichen Querschnitt des Gastroknemius vorstellt (Vergl. oben Bd. I. S. 526).

Nicht minder irrig, zu dieser Einsicht gelangen wir jetzt, war wohl Volta's Deutung der Wirksamkeit des Benetzens der Muskeln mit den aufgezählten Flüssigkeiten. Es ist allerdings nicht unmöglich, dafs, unter gewissen Umständen, chemisch sehr wirksame Flüssigkeiten in der Art elektromotorisch wirken, wie Volta es sich dachte. Indessen ist doch zu erwägen, dafs, da die thierischen Gewebe sich bei ihrer Berührung elektromotorisch unwirksam verhalten, durch das Dazwischenbringen einer mit jedem derselben wirksamen Flüssigkeit nur dann eine elektromotorische Kraft wird erzeugt werden, wenn z. B. diese Flüssigkeit an den Grenzen der Gewebe in ungleichem Mafse verdünnt wird, oder andere Verwickelungen sich einmischen. Auf alle Fälle ist leicht zu zeigen, dafs, wenn dieser Umstand in Volta's Versuchen mit im Spiele war, er doch wenigstens nicht allein den Grund des Hervortretens der Zuckungen enthielt, sondern dafs in der That wohl die Entwickelung des Stromes der im parelektronomischen Zustande befindlichen Muskeln durch die hinzugetragenen Flüssigkeiten den gröfsten Antheil daran hatte.

Man stelle den stromprüfenden Schenkel dar, lege darauf ein Glim-

Digitized by Google

merblatt von der Länge, dafs es von der Kniekehle bis zur Fufswurzel reicht, und versuche, ob durch Zurückbeugen des Nerven gegen die Fufswurzel Zuckung entsteht oder nicht. Bleibt die Zuckung aus, so benetze man die Ausbreitung der Achillessehne, unter dem Glimmer, mit irgend einer stark entwickelnden Flüssigkeit, Salpetersäure, salpetersaurer Silberoxyd-, Kalihydratlösung. Nun wird in vielen Fällen die Zuckung erscheinen, wenn man den Nerven gegen die Fufswurzel zurückbeugt. Da aber die Berührungsstelle zwischen Nerv und Fufswurzel dabei gar nicht mit der ungleichartigen Flüssigkeit benetzt worden ist, so versteht es sich von selber, dafs hier von Volta's Deutung nicht die Rede sein kann. Das Hervortreten der Zuckung beruht hier auf nichts, als auf der Entwickelung des Muskelstromes durch die den natürlichen Querschnitt benetzende Flüssigkeit.

Die Zuckung tritt denn auch nicht minder hervor, wenn man, statt einer leitenden Flüssigkeit, eine stark entwickelnde nichtleitende Flüssigkeit nimmt, z. B. Kreosot. Da hier gar keine Kettenbildung stattfinden kann, so wird das Glimmerblatt entbehrlich, man kann den Nerven getrost gegen die mit Kreosot bepinselte Ausbreitung der Achillessehne selber zurückbeugen, und man wird in vielen Fällen, trotz dem erhöhten Widerstande des Kreises, das Kreosot die Zuckungen hervorlocken sehen, die früher vollständig vermifst wurden. An eine Verwechselung der Zuckungen durch den Muskelstrom mit solchen, die vom unmittelbaren Reiz des Kreosots auf den Nerven herrührten, ist nicht zu denken. Es darf, der sonst eintretenden Unterbrechung der Leitung halber, das Kreosot gar nicht so reichlich aufgetragen werden, dafs der Nerv noch damit benetzt werden kann, und ohnehin vermag auch das ungeübteste Auge leicht solche unregelmäfsig flimmernde Zuckungen, wie sie durch den unmittelbaren Angriff des Nerven entstehen, von solchen zu unterscheiden, die den Schlufs einer Kette begleiten (Vergl. oben Bd. I. S. 63).

Man sieht demnach, dieser Versuch ist völlig gleichbedeutend mit unseren Versuchen mit Kreosot am Multiplicator. Vollends ergiebt sich dies daraus, dafs man, anstatt die Ausbreitung der Achillessehne anzuätzen, sie auch einfach mittelst der Scheere abtragen kann. Auch so erhält man Zuckungen, wenn sie vorher versagten, wie dies auch Matteucci bereits beobachtet hat, ohne den Grund davon einzusehen. [1] Noch vortheilhafter ist es natürlich, anstatt des schrägen künstlichen Querschnittes, den man mühsam durch Abschälen des sehnigen Ueberzuges

[1] Archives de l'Électricité. 1842. t. II. p. 441;* — Annales de Chimie et de Physique. Novembre 1842. 3. Série. t. VI. p. 325;* — Traité etc., p. 108.*

Digitized by Google

erhält und dabei die Leistungsfähigkeit des Gastroknemius leicht sehr beeinträchtigt, einen senkrechten Querschnitt durch den ganzen Unterschenkel anzuwenden.

Ich habe versucht, denselben Erfolg auch dadurch zu bewirken, dafs ich die Ausbreitung der Achillessehne verbrannte (Vergl. oben S. 104. 105); allein bisher vergeblich, zum Theil vielleicht wegen allzugeringer ursprünglicher Leistungsfähigkeit der angewandten Thiere, zum Theil aber auch gewifs, weil die den Strom entwickelnde Behandlung die Leistungsfähigkeit des Muskels zugleich in dem Mafse beeinträchtigt, dafs er auch auf den völlig entwickelten Strom jetzt nicht mehr zu antworten vermag. Aus demselben Grunde ist denn auch der günstige Erfolg beim Abschälen der Ausbreitung der Achillessehne oft nur sehr vorübergehend, wie übrigens schon Matteucci bemerkt hat. Es ist mir nicht gelungen, mit anderen nichtleitenden Flüssigkeiten als Kreosot die Zuckungen hervorzulocken, und so versagten sie mir auch häufig bei Anwendung minder stark entwickelnder Flüssigkeiten von leitender Beschaffenheit, in beiden Fällen augenscheinlich, weil in der Zeit, die über der Entwickelung des Stromes verging, die thierischen Theile zu viel an Leistungsfähigkeit einbüfsten.

Unter den Flüssigkeiten, die Volta als das Hervortreten der Zuckungen befördernd aufführt, sind einige, die wir noch nicht auf ihre Fähigkeit, den Strom zu entwickeln, geprüft haben, als Harn, Schleim, Speichel, verschiedene saure Pflanzensäfte und Seifenwasser. Zur Vervollständigung unseres Beweises, dafs die Entwickelung des Muskelstromes durch die Flüssigkeiten in Volta's Versuchen eine Rolle gespielt habe, gehört es somit, dafs wir jetzt noch die Prüfung vornehmen, ob jene Flüssigkeiten zur Entwickelung wirklich befähigt sind. Natürlich stellen wir diese Prüfung nicht am Froschschenkel, auf physiologischem Wege, an, wodurch wir uns nur unnütze Schwierigkeiten bereiten würden, sondern am Multiplicator in der oben S. 55 beschriebenen Weise.

Der Schaum einer gewöhnlichen Natronseife zeigte sich in meinen Versuchen kräftig entwickelnd. Als der natürliche Querschnitt eines parelektronomischen Gastroknemius mit dem Schaum bestrichen wurde, ging die Nadel sofort ausschlagsweise von Null auf 50°, bei einer zweiten Prüfung flog sie an die Hemmung.

Die Pflanzensäfte bezeichnet Volta nicht näher. Als er auf seinem Landsitz am Comer See v. Humboldt seine Versuche über die Ketten mit einem Metall und zwei ungleichartigen Flüssigkeiten zeigte, bediente er sich unter anderen des Saftes einer reifen und des einer unreifen Cornelkirsche (Cornus mascula Linn.), um zu zeigen, wie ein

Digitized by Google

gleichartiger Bogen elektromotorisch wirksam gemacht werden könne dadurch, dafs man auch noch so wenig ungleichartige Flüssigkeiten an seine Enden bringe.[1] Cornelkirschen konnte ich mir zur Zeit, wo ich diese Versuche für den Druck abschliefsen mufste, nicht verschaffen. Was ich aber von anderen Pflanzensäften, die einigermafsen reich an freier Säure sind, in dieser Hinsicht prüfte, erwies sich als stark entwickelnd. Von Südfrüchten, die Volta am nächsten zur Hand gewesen sein mochten, versuchte ich nicht allein Citrone und Apfelsine, sondern es standen mir durch einen glücklichen Zufall auch noch Granatapfel und Bergamotte zu Gebot.

Mäfsig concentrirter, kalter, stark sauer reagirender Harn entwickelte deutlich, stärker noch Nasenschleim bei gesundem Zustande der Schleimhaut. Ich kann hinzufügen Schweifs. Im Sommer, bei geschwitzter Haut, genügt es einen parelektronomischen Gastroknemius ein paarmal zwischen den Fingern hin und her zu rollen, um seinen Strom alsbald eine Hebung erfahren zu sehen. Es möchte daher für die chemische Angreifbarkeit der Muskelsubstanz durch eine bestimmte Flüssigkeit kaum ein empfindlicheres Prüfungsmittel geben, als den natürlichen Querschnitt eines parelektronomischen Gastroknemius damit zu benetzen, und die Veränderung zu beobachten, die dadurch in dem elektrischen Zustande des Querschnittes hervorgebracht wird.

Als geeignet, das Hervortreten der Zuckung ohne Metalle zu befördern, nennt Volta auch Speichel und Blut. Nun wissen wir aber bereits von oben S. 63. 64 her, dafs Blut nicht entwickelt, und ebensowenig habe ich Speichel merklich entwickelnd gefunden. Indessen wäre es übereilt, hieraus schliefsen zu wollen, dafs Volta's Deutung in diesen Fällen beizubehalten sei. Denn weshalb entwickeln Blut und Speichel nicht? Weil sie die Muskelsubstanz nicht angreifen, weil sie im Verhältnifs zu ihr nicht chemisch different genug sind. Alsdann geht ihnen aber auch diejenige Fähigkeit ab, die Volta's Deutung, um möglich zu sein, bei ihnen voraussetzen würde, nämlich in Berührung mit der Muskelsubstanz kräftig elektromotorisch zu wirken. Es ist also vielmehr zu schliefsen, dafs Volta hier einmal minder scharf als sonst beobachtet habe, indem er sich durch das Vorurtheil beherrschen liefs, alle schleimige, zähe Flüssigkeiten (gli umori mucillaginosi, mucosi, glutinosi, viscidi[2]) müfsten, in Berührung mit den thierischen

[1] Versuche über die gereizte Muskel- und Nervenfaser u. s. w. Posen und Berlin 1797. Bd. I. S. 52.*

[2] Vergl. vorzüglich den 3. Brief an Vassalli (Collezione dell' Opere del Cav. Conte Alessandro Volta ec. Firenze 1816. t. II. p. I. p. 230;* — s. oben Bd. I. S. 69 ff.), den 1. Brief an Gren (Ivi, t. II. p. II. p. 5;* — s. oben ebendas. S. 74),

Digitized by Google

Theilen, elektromotorisch wirksam sein. VOLTA achtete dabei nicht hinlänglich auf die chemische Natur der Flüssigkeiten; und wer möchte es wagen, ihm zu seiner Zeit, bei seinem Standpunkte des Wissens, daraus einen Vorwurf zu machen?

v. HUMBOLDT glaubte bekanntlich gefunden zu haben, dafs die Benetzung der thierischen Theile mit gewissen Flüssigkeiten die Reizempfänglichkeit erhöhe; so zwar, dafs Zuckungen in galvanischen Kreisen aufträten, wo sie vorher ausblieben. v. HUMBOLDT bediente sich dabei vorzugsweise der kohlensauren Kalilösung (des Oleum tartari per deliquium) und des Chlorwassers (der oxygenirten Kochsalzsäure). Diese Lehre ist die Lehre von den integrirenden Reizen genannt worden. Man hat, nach RITTER's und PFAFF's Vorgange, später stets angenommen, dafs die angeblich die Reizempfänglichkeit erhöhenden Flüssigkeiten ihre Wirkung dadurch hervorbrächten, dafs sie als Glieder einer Kette aus Metallen und mehreren Flüssigkeiten, oder auch aus mehreren Flüssigkeiten allein, thätig wären und also vielmehr die Stromstärke im Kreise vermehrten. In vielen Fällen mag dies die richtige Erklärung sein. In manchen Versuchen ohne Metalle aber haben die ätzenden Flüssigkeiten unstreitig wohl auch dadurch die Stromstärke vergröfsert, dafs sie, durch Zerstörung der parelektronomischen Schicht, den Muskelstrom entwickelten. [1]

und den 1. Brief an ALDINI (RITTER's Beiträge zur näheren Kenntnifs des Galvanismus und der Resultate seiner Untersuchung. Bd. II. Stück 3. 4. 1805. S. 1;* — s. oben ebendas. S. 89).

[1] Zur Lehre von den integrirenden Reizen s. v. HUMBOLDT in GREN's Neuem Journal der Physik. 1796. Bd. III. S. 173;* — 1797. Bd. IV. S. 172;* — Magazin encyclopédique, ou Journal des Sciences, des Lettres et des Arts, rédigé par MILLIN, NOËL et WARENS. t. VI. An IV (1795). p. 462;* — Versuche über die gereizte Muskel- und Nervenfaser u. s. w. Posen und Berlin 1797. Bd. I und II. an vielen Stellen, insbesondere Bd. II. S. 360 ff. 395 ff.;* — HARTENKEIL's medicinisch-chirurgische Zeitung. 1797. Bd. IV. S. 375;* — LODER's Journal für die Chirurgie, Geburtshülfe und gerichtliche Arzneikunde. 1797. Bd. I. S. 453. 457. 470;* — PH. MICHAELIS in GREN's Neuem Journal der Physik. 1797. Bd. IV. S. 23. 25. 26;* — REINHOLD, de Galvanismo Specimen I. Lipsiae 1797. 4°. p. 112;* — Derselbe in seiner Geschichte des Galvanismus. Leipzig 1803. S. 88;* — RITTER in seinem Beweis, dafs ein beständiger Galvanismus den Lebensprocefs in dem Thierreich begleite. Weimar 1798. S. 12;* — Die Commission des National-Institutes vom Frühjahr 1797 und 1798 (Vergl. oben Bd. I. S. 315) in RITTER's Beiträgen zur näheren Kenntnifs des Galvanismus und der Resultate seiner Untersuchung. Bd. I. St. 1. 2. Jena 1800. S. 68;* — PFAFF im Nordischen Archiv für Naturkunde, Arzneiwissenschaft und Chirurgie. Herausgegeben von PFAFF, SCHEEL und RUDOLPHI. 1799. Bd. I. St. 1. S. 17;* — JOH. MÜLLER's Handbuch der Physiologie des Menschen. Bd. I. 4. Aufl. Coblenz 1844. S. 545.*

Digitized by Google

(II) Widerlegung von Cima's Erklärung des Umstandes, dafs der Strom des natürlichen Querschnittes mehr als der des künstlichen unter schwächenden Einflüssen leide.

In Ermangelung eines besseren Ortes will ich hier der Erklärung gedenken, welche Cima von dem Umstande giebt, dafs der sogenannte Froschstrom mehr als der Muskelstrom unter dem Einflusse der Kälte und des unterdrückten Blutumlaufes oder Athmungsvorganges leide.

Cima kennt die Einerleiheit beider Ströme in dem Sinne Matteucci's (S. oben S. 120. 121), ja ihm gebührt der Erstbesitz dieser Kenntnifs vor Matteucci, wenn auch nicht, wie er sich einbildet, vor mir.[1] Cima stellt zuerst den Satz auf, an der Gegenwart des sehnigen Ueberzuges müsse die geringere Stärke des Froschstromes im Vergleich zum Muskelstrom an solchen Fröschen liegen, welche Herz und Lungen eingebüfst hätten (S. oben S. 139). Denn als er denselben Versuch an sechs Fröschen wiederholt habe, nur mit dem Unterschiede, dafs die eine Säule statt aus den Unterschenkeln, aus den zwölf Gastroknemien zusammengesetzt war, die sorgfältig von ihrem sehnigen Ueberzuge befreit waren (»ai quali tolsi prima diligentemente tutta la parte tendinosa«), gab die Säule aus querdurchschnittenen Oberschenkeln 10° Ausschlag, die aus den Gastroknemien 11°; in einem anderen Falle die erstere 12°, die zweite 11°. An einem kalten Decembertage liefs Cima acht Frösche einige Stunden vor dem Fenster stehen. Dann wurden aus den sechszehn querdurchschnittenen Oberschenkeln und den sechszehn Gastroknemien zwei Säulen in demselben Kreise einander entgegengesetzt. Es erfolgte ein Ausschlag von 8° im Sinne der Oberschenkel. Nachdem aber die sehnigen Ueberzüge von den Gastroknemien entfernt worden waren, zeigte sich der Ausschlag bis auf 2° vermindert. Die Oberschenkelsäule, für sich untersucht, hatte zuerst 14° gegeben, jetzt gab sie noch immer 12°. Es rührte die Verminderung des Differentialstromes also vielmehr von einem Wachsen des Stromes der Säule aus den Gastroknemien her. In anderen Versuchen verglich Cima die Wirkungen, welche eine Säule aus querdurchschnittenen Oberschenkeln und eine solche aus Gastroknemien bei entfernter sehniger Ausbreitung am Multiplicator einzeln gaben; die Wirkungen waren in diesem Falle nahe dieselben.

[1] Saggio storico-critico ec. Ivi, p. 507. Nota.* — Vergl. Matteucci in den Comptes rendus etc. 22 Avril 1850. t. XXX. p. 480;* — Ibidem. 15 Juillet 1851. p. 704;* — Réponse aux deux dernières Lettres de M. du Bois-Reymond etc. présentée à l'Académie des Sciences par M. Matteucci. Florence, Imprimerie de Le Monnier. p. 5.*

Digitized by Google

Um nun begreiflich zu machen, wie die Gegenwart der Sehne den Strom schwächen könne, erinnert Cima daran, dafs, nach Matteucci, der Muskelstrom der warmblütigen Thiere weniger als der der kaltblütigen unter dem Einfluſs der Kälte leide (S. oben S. 28. 135). Es stehe aber das Sehnengewebe zum Muskelgewebe in eben solchem Verhältnifs, wie die kaltblütigen Thiere zu den warmblütigen (!). Vermöge des geringeren Widerstandes, den das minder hoch organisirte Sehnengewebe der Kälte zu leisten im Stande sei, büfse es seine Leitungsfähigkeit für den elektrischen Strom ein. Auch die Hemmung des Athmungsvorganges und Blutumlaufes erhöhe, wie nun zu schliefsen sei, den Widerstand des Sehnengewebes.[1]

Ich brauche nicht zu erinnern, dafs diese Vorstellungsweise nicht nur in sich haltlos ist, sondern sich auch bereits durch frühere Erörterungen von unserer Seite sattsam widerlegt findet. Sie ist haltlos insofern, als durchaus nicht zu begreifen ist, durch welchen Sprung Cima dazu gelangt, aus der minder hohen Stellung des Sehnengewebes im Vergleich zum Muskelgewebe im thierischen Körper die Nothwendigkeit zu entnehmen, dafs die Kälte den Widerstand des Sehnengewebes in stärkerem Mafs erhöhe, als den des Muskelgewebes. Anstatt durch einen unmittelbaren Versuch zu zeigen, dafs der Widerstand des Sehnengewebes durch die Kälte wirklich in so auffallendem Mafs erhöht werde, beruft er sich hiezu, vermöge des gröblichsten Zirkelschlusses, auf die Thatsachen selber, die durch diese Annahme erklärt werden sollen, nämlich auf die eben dargelegten Versuche. Er versäumt, sich zu überzeugen, ob denn Erwärmung der Präparate sofort den Unterschied der Stärke zwischen »Frosch- und Muskelstrom« verschwinden mache, was, wie wir bereits wissen, nicht der Fall ist (S. oben S. 136. 137); und, um dieser Unmethode die Krone aufzusetzen, schreibt er, ohne ein Wort der Begründung, der Hemmung des Kreislaufes und der Athmung dieselbe Wirkung als der Kälte auf den Widerstand der Sehnen und Muskeln zu.

Endlich haben wir früher schon die Möglichkeit erwogen, ob der Widerstand des sehnigen Ueberzuges bei den Erscheinungen des parelektronomischen Zustandes eine Rolle spiele oder nicht, und wir sind zur Ueberzeugung gelangt, dafs davon die Rede nicht sein könne, indem in unseren Versuchen der sehnige Ueberzug sich gar nicht in der Weise auf der Bahn des Stromes befand, dafs eine Erhöhung seines Widerstandes den Strom schwächen konnte. Vielmehr gab sich uns auf das bestimmteste kund, wie der sehnige Ueberzug als Neben-

[1] Saggio storico-critico ec. Ivi, p. 508—511. §. 25—28. p. 551. §. 56.

Digitized by Google

schliefsung in die Anordnung einging, so dafs die Folge einer verminderten Leitungsfähigkeit desselben nicht, wie Cima meint, Schwächung, sondern im Gegentheil Verstärkung des Muskelstromes nach sich ziehen würde. Schwerlich würde Cima gewagt haben, mit seiner Theorie des parelektronomischen Zustandes, und noch dazu so sicher an's Licht zu treten, wenn er gewufst hätte (eine Einsicht, die freilich nicht auf dem Wege des bloſsen Hypothesenmachens zu beziehen war), dafs ein Tropfen einer nichtleitenden, ätzenden Flüssigkeit, Kreosot, auf die Achillessehne gebracht, dem Muskel nahezu denselben Grad elektromotorischer Wirksamkeit verleiht, als ob ein künstlicher Querschnitt mit der Scheere daran dargestellt worden wäre.

In der That befand sich Cima nicht in der Lage, über diesen Kreis von Erscheinungen irgend brauchbare Hypothesen zu ersinnen. Dazu gehörte eine tiefergehende Kenntnifs der Thatsachen, als er sie besafs. Fragt man aber endlich, wie es möglich gewesen sei, dafs Matteucci und Cima, bei ihren zahlreichen Versuchen, und nachdem sie die vorzugsweise Schwächung des Stromes des natürlichen Querschnittes durch verschiedene Einflüsse wohl bemerkt hatten, die Erscheinung der Entwickelung dieses Stromes und alles was sich daran knüpft, habe entgehen können, so ist die Antwort darauf jetzt unschwer zu geben.

Um dies zu verstehen, braucht man sich nur der Versuchsweisen zu erinnern, welche Matteucci und nach ihm Cima anzuwenden pflegen.[1] Da bei diesen Versuchsweisen meist nur destillirtes Wasser als Zuleitungsflüssigkeit gebraucht wird, so fehlte es überhaupt an einer kräftig stromentwickelnden Flüssigkeit; oder wenn ausnahmsweise einmal Wasser mit etwas wenigem Kochsalz in Anwendung kam, so wurde doch nur dasjenige Endglied der thierischen Säule, welches natürlichen Querschnitt darbot, in der Weise damit benetzt, dafs Stromentwickelung die Folge sein konnte. Die Präparate in Matteucci's und Cima's Säulen befanden sich also in der Lage, in die wir oben S. 47. 51 die unsrigen absichtlich versetzten, um zu verhindern, dafs Stromentwickelung stattfinde, die sich bei unserer Versuchsweise, durch einen glücklichen Zufall, sonst immer von selbst einstellte. Um so klarer wird es, dafs in Matteucci's und Cima's Versuchen keine in die Augen fallende Wirkung der Art stattfinden konnte, als ja zudem die Stufe des parelektronomischen Zustandes, welche sie beobachteten, stets nur eine sehr niedrige war. Sogar an ihren so wenig empfindlichen Stromprüfern wurde niemals Abwesenheit des Stromes beobachtet, geschweige dafs Umkehr seiner

[1] Vergl. oben Bd. I. S. 227 ff. — Saggio storico-critico ec. Ivi, p. 458.

Digitized by Google

Richtung bemerkt worden wäre. Dies hat wohl daher gerührt, dafs, wenn Matteucci und Cima die Winterkälte benutzten, die Erkältung nicht tief genug reichte, und, wenn sie die Frösche künstlich erkälteten, sie sie nicht lange genug in der Kälte liefsen.

Von der oben Abth. I. S. 147. 150. 183 erwähnten Beobachtung Matteucci's, wonach der schon fast verschwundene Strom älterer Präparate sich wiederum hebe, wenn man sie mit Wasser oder verdünnter Kochsalzlösung befeuchte, glaube ich nicht, dafs hier Matteucci einmal wirklich Stromentwickelung im parelektronomischen Zustande vor Augen gehabt hat. Diese Beobachtung erklärt sich in der That hinreichend in der ebendas. bereits angemerkten Weise, nämlich einfach durch Wiederherstellung der Leitungsfähigkeit der im Lauf des Versuchs eingetrockneten Ischiadgeflechte, die Matteucci thörichterweise stets im Kreise hatte.

(m) Erläuterung, mit Hülfe des parelektronomischen Zustandes, einiger früheren Punkte dieser Untersuchungen.

Der parelektronomische Zustand greift, wie man sich leicht denken mag, so vielfach in die Erscheinungsweise des Muskelstromes ein, dafs es im Laufe dieser Untersuchungen nicht immer hat vermieden werden können, bereits früher, als wir Kenntnifs von diesem Zustande hatten, Bezug darauf zu nehmen. Ich kann um so weniger umhin, eine Musterung der Gelegenheiten, bei denen dies hat geschehen müssen, hier in der Kürze vorzunehmen, als ich dabei verschiedene Irrthümer zu berichtigen habe, in die ich deshalb verfallen bin, weil ich noch unrichtige Vorstellungen über das Wesen des parelektronomischen Zustandes hatte, und namentlich in der Meinung befangen war, dafs öfteres oder lange anhaltendes Schliefsen der thierischen Theile zur Kette durch einen guten Leiter den Strom zu entwickeln vermöge (S. oben S. 43 ff.). Aufserdem wird sich uns jetzt mit Leichtigkeit die Erklärung einiger Punkte ergeben, die mir, zur Zeit des Abschlusses über dieselben für den Druck, noch nicht deutlich geworden waren.

Zuerst ist auf den parelektronomischen Zustand Bezug genommen worden oben Bd. I. S. 134 in unseren Bemerkungen über Valentin's thierisch-elektrische Untersuchungen. Erst daraus, dafs auch beim öfteren Schliefsen seiner Kette der Frosch keine Wirkung gab, wurde, im Verein mit anderen Umständen, entnommen, dafs die Vorrichtung überhaupt nicht geeignet war, den Froschstrom sichtbar zu machen. Dieser Schlufs erscheint jetzt nur noch gültig unter der Bedingung, über deren Erfüllung in Valentin's Versuchen nichts auszumachen ist, dafs das öftere Schliefsen zur Kette, wie es in unseren Versuchen der

Digitized by Google

Fall war (S. oben S. 43 ff.), wiederholte Benetzung der thierischen Glieder mit einer entwickelnden Flüssigkeit nach sich zog.

Der parelektronomische Zustand ist wohl zum grofsen Theil Schuld daran, dafs es so selten gelingt, die Nadel in Ruhe bleiben zu sehen in einem Kreise, in dem sich zwei Gastroknemien oder zwei Unterschenkelstrecker entgegenwirken (S. oben Bd. I. S. 247. 725). In der That erinnert man sich (S. oben S. 126), dafs es etwas ganz gewöhnliches ist, die beiden Gastroknemien eines und desselben Frosches auf merklich verschiedenen Stufen des parelektronomischen Zustandes zu finden.

Den parelektronomischen Zustand hatte ich im Auge, als ich oben Bd. I. S. 464 bei Beschreibung des Grundversuchs am enthäuteten Gesammtfrosch verlangte, der Frosch solle in dem Zustande sein, den man als den normalen zu betrachten berechtigt ist, d. h. also, nach dem, was wir jetzt wissen, auf einer möglichst tiefen Stufe des parelektronomischen Zustandes, da völlige Freiheit davon niemals wahrgenommen wird (S. oben S. 118. Vergl. auch noch Bd. I. S. 231).

Oben Bd. I. S. 469 findet sich die auffallende Thatsache berichtet, dafs die beiden rittlings in die Zuleitungsgefäfse tauchenden Beine eines Galvani'schen Präparates sich niemals das Gleichgewicht halten, trotz aller Sorgfalt, die man auf die symmetrische Zurichtung der Beckengegend und auf das gleich tiefe Eintauchen beider Beine verwenden mag. Jetzt wird diese Thatsache leicht verständlich mit Hülfe des eben erinnerten Umstandes, dafs die gleichnamigen Muskeln der beiden Beine desselben Thieres häufig auf einer sehr verschiedenen Stufe des parelektronomischen Zustandes gefunden werden. Dazu kommt noch, dafs bei jener Versuchsweise, wenn man nicht ganz besonders Acht darauf giebt, das eine Bein leicht mehr als das andere der entwickelnden Wirkung der Kochsalzlösung in den Zuleitungsgefäfsen preisgegeben wird.

Oben Bd. I. S. 476. 477 habe ich angeführt, dafs häufig die Zuckung ohne Metalle durch Zurückbeugen des Ischiadnerven gegen die Wade erst nach mehrmaligem Versuchen erscheint (Vergl. dazu Abth. I. S. 119. 298. 425. 431. 469. 531. 533. 562). Ich habe es zweifelhaft gelassen, ob dieser Umstand zusammenhängt mit der bekannten Thatsache, dafs auch sehr abgemattete Froschschenkel, in den spätesten Zuständen der Erregbarkeit, häufig nicht sofort auf den Strom ungleichartiger Metallbögen antworten, sondern erst nach mehrfacher Erregung, oder ob einer andern Deutung desselben Umstandes Gehör zu geben sei, die sich uns in der Folge darbieten werde. Dabei schwebte mir nämlich die Möglichkeit vor, dafs durch das öftere Schliefsen der thierischen Kette in sich selber der Strom der Muskeln, die ich mir im parelektronomischen Zustande dachte, entwickelt werde. Diese Möglichkeit fällt

Digitized by Google

jetzt fort, da das Schliefsen zur Kette auf die Stromentwickelung keinerlei Einfluſs äufsert, es sei denn, was hier nicht zutrifft, daſs daran die Benetzung des natürlichen Querschnittes mit einer entwickelnden Flüssigkeit geknüpft sei.

Der oben Bd. I. S. 504. 513. 539. 557 angemerkte Umstand, daſs, wenn man künstlichen Querschnitt gegen natürlichen auflegt, kein Gleichgewicht stattfindet, sondern der künstliche Querschnitt der negativere ist, beruht wohl nur zum kleineren Theil auf der verschiedenen Neigung beider Arten des Querschnittes gegen die Axe der Muskelbündel, wie daselbst angegeben wurde. Zum gröſseren Theil wird dies Verhalten, wie jetzt klar ist, durch die parelektronomische Schicht am natürlichen Querschnitte bedingt. Vergl. oben S. 118.

Es lag in Zusammenhang meiner früheren Vorstellungen über den parelektronomischen Zustand, daſs ich mir dachte, die elektromotorischen Muskelmolekeln würden erst durch das Schliefsen der Muskeln zur Kette positiv peripolar angeordnet, dies geschehe rasch im gewöhnlichen, allmälig und erst durch öfteres Schliefsen im parelektronomischen Zustande (S. oben S. 43 ff.). Aus diesem, nun als illusorisch erkannten Grunde wurde oben Bd. I. S. 693 die dreifsiggliederige Säule von halbdurchschnittenen Froschoberschenkeln, an der ich die elektroskopische Wirkung der Muskeln untersuchen wollte, vor der Prüfung durch das Elektroskop erst mehreremal mit wohlbefeuchteten Fingern zum Kreise geschlossen.

Aus der Stromentwickelung im parelektronomischen Zustande erklärt sich, wie auch daselbst bereits angemerkt ist, die oben Bd. I. S. 715 beschriebene Erscheinung, daſs das Ueberbrücken der Zuleitungsbäusche mit einem zweiten, dritten ... Gastroknemius den Strom im Multiplicator nicht immer verstärkt, oft ihn schwächt, daſs aber das Entfernen desselben zweiten, dritten ... Gastroknemius, nachdem er eine Weile aufgelegen, merkwürdigerweise abermals von einem negativen Ausschlage begleitet ist, sein erneutes Hinzubringen aber von einem positiven. Es leuchtet ein, daſs der Gastroknemius, wegen parelektronomischen Zustandes, beim ersten Hinzutragen stärker als Nebenschliefsung denn als Erreger wirkte, daſs sich aber in Verlauf seiner Berührung mit der Flüssigkeit der Eiweifshäutchen oder der Bäusche sein Strom entwickelt hat, so daſs er nunmehr stärker als Erreger denn als Nebenschliefsung zu wirken fähig geworden ist. Vergl. Bd. I. a. a. O.

Ebendas., S. 716, habe ich gesagt: »Wenn wir die Bewegungs»erscheinungen des Muskelstromes werden kennen gelernt haben ...,

Digitized by Google

»wird sich uns eine Aussicht eröffnen, das Gesetz des Muskelstromes, »freilich unter Zuziehung mehrerer sehr gewagter Voraussetzungen, »allein durch eine dipolare Anordnung ungleichartiger Gebilde im »Innern der einfachen Bündel, statt durch eine peripolare ..., zu er»klären.« Dies führte ich an um die Wichtigkeit der von uns aufgefundenen Thatsache fühlbar zu machen, dafs die Summe der Spannungen, mit denen die Muskeln im Multiplicatorkreise thätig sind, mit ihrem Querschnitt wächst, indem nämlich diese Thatsache mit der Voraussetzung einer dipolaren Anordnung der ungleichartigen Bestandtheile im Muskel unvereinbar scheint. Ich bemerke nunmehr, dafs jene mir damals vorschwebende Möglichkeit einer Ableitung der elektromotorischen Erscheinungen der Muskeln aus einer dipolaren Anordnung der Molekeln zusammenhing mit den schon mehrmals berührten irrigen Vorstellungen, die ich mir über das Wesen des parelektronomischen Zustandes machte, und dafs, bei der jetzigen, wie ich glaube, der Wirklichkeit gemäfsen Ansicht der Dinge, von jener Möglichkeit nicht mehr die Rede sein kann. So wichtig die erinnerte Abhängigkeit der elektromotorischen Kraft eines Muskels von seinem Querschnitte sich an und für sich darstellt, es braucht uns diese Thatsache doch den Dienst nicht mehr zu leisten, um deswillen sie uns damals besonders willkommen erschien, zu entscheiden nämlich zwischen zweien, sonst in allen Stücken gleichberechtigten Theorieen des Muskelstroms.

Als ich, im Sommer 1842, die oben Abth. I. S. 183 aus meinem »*vorläufigen Abrifs*« entnommenen Versuche über die verderbliche Wirkung der Aetzmittel auf das elektromotorische Vermögen der Muskeln anstellte und mich dabei zuerst des Gastroknemius mit natürlichem Querschnitt bediente (S. daselbst S. 177), fand ich einigemal zu meinem nicht geringen Befremden, dafs der Strom der Muskeln, statt durch das eben geprüfte Aetzmittel wenigstens vermindert zu sein, ganz im Gegentheil stärker als vorher erschien. Bei Anwendung des künstlichen Querschnittes sah ich dies Verhalten nie. Bei der damaligen Versuchsweise lag indefs der Verdacht, dafs etwas von der ätzenden Flüssigkeit am Muskel haften geblieben sei und elektromotorisch gewirkt habe, zu nahe um viel auf diese sonst ziemlich unerklärliche Abweichung zu geben. Jetzt ist natürlich auch dies Räthsel gelöst: die Muskeln befanden sich im parelektronomischen Zustande, und das geprüfte Aetzmittel hatte durch Zerstörung der parelektronomischen Schicht am natürlichen Querschnitt den Strom zunächst mehr verstärkt, als es ihn durch Anätzen des natürlichen Längsschnittes geschwächt hatte (Vergl. oben S. 105. 137).

Digitized by Google

14. Von der Ursache der scheinbar durch das Enthäuten bewirkten Verstärkung des Muskelstromes.

Die bisher aufgezählten Punkte, die, früher dunkel geblieben, mit Hülfe der Kenntnifs des parelektronomischen Zustandes, jetzt von uns aufgeklärt worden sind, waren meist von geringem Belang. Jetzt aber bleibt uns übrig, die nämliche Kenntnifs anzuwenden, um die wichtige Frage zu beantworten, vor der wir am Schlusse des vorigen Paragraphen rathlos stehen geblieben waren. Man erinnert sich, dafs das aus den Erscheinungen des parelektronomischen Zustandes für diese Frage erwachsende Licht sogar der Grund war, weshalb die Untersuchung über diesen Zustand hier eingeschaltet wurde. Die Episode über den parelektronomischen Zustand ist nun zu Ende. Wir nehmen den Faden unserer Untersuchung wieder auf, welche, wie man nicht vergessen hat, nunmehr auf die Darlegung der neuen elektrischen Erscheinungen auch am lebenden unversehrten Körper der Thiere und wo möglich des Menschen selber gerichtet ist.

Nach Beseitigung der Schwierigkeiten, die uns die Hautungleichartigkeiten des Frosches entgegensetzten, hatten wir gefunden, dafs der Muskelstrom am unversehrten lebenden oder todten Thiere, wie auch an nicht enthäuteten Gliedmafsen des getödteten, zwar vorhanden ist, dafs er aber weit schwächer erscheint, als an den enthäuteten Gliedmafsen, oder dem enthäuteten, lebenden oder todten Gesammtfrosch (S. oben S. 9).

Hiezu mag jetzt noch gefügt werden, dafs an Fröschen, die durch die Kälte auf die höheren Stufen des parelektronomischen Zustandes versetzt worden sind, dieser Strom nach Umständen ganz vermifst wird, ja verkehrt erscheint; sichtlich abermals ein Beweis dafür, dafs er, seiner geringen Stärke ungeachtet, als der wahre Muskelstrom anzusehen ist (S. oben S. 9). Wir hatten ferner erfahren, dafs diese geringere Stärke des Muskelstromes, obschon sie lediglich durch die Gegenwart der Haut bedingt zu sein scheine, nur zu einem kleinen Theile davon herrühre, dafs die Haut für den Muskelstrom eine Nebenschliefsung in Bezug auf den Multiplicatorkreis bildet. Wenn wir nämlich die Gliedmafsen des Frosches zuerst im nicht enthäuteten Zustande auf ihren Strom prüften, sodann sie enthäuteten, endlich ihnen die Haut wieder überzogen und sie abermals am Multiplicator prüften, fanden wir stets den Strom sehr viel gröfser, als er vor dem Abziehen gewesen war (S. oben S. 23). Noch eine andere Art hatten wir ausfindig gemacht, den Strom zu erhöhen. Sie bestand, dem Anschein nach, einfach darin, die nicht enthäuteten Gliedmafsen stundenlang an

Digitized by Google

der Luft liegen zu lassen. Prüften wir sie dabei von Zeit zu Zeit am Multiplicator, so sahen wir den Muskelstrom sich allmälig zu einer sehr ansehnlichen Gröfse entwickeln. Diese Entwickelung fand aber am lebenden Thiere nicht statt, welches wir, auf den bekannten Rahmen gebunden, mit Hülfe des Sattelbausches untersuchten (S. oben S. 9). Endlich wenn wir ein nicht enthäutetes Bein querdurchschnitten, und den künstlichen Querschnitt einerseits, andererseits den noch mit der Haut bekleideten natürlichen Längsschnitt an die Zuleitungsbäusche legten, fanden wir den Muskelstrom stets in seiner gewöhnlichen Richtung und Stärke vor (S. oben S. 25).

Obschon dieser letzte Erfolg schlecht damit stimmte, und obschon sich noch sonst viel dagegen einwenden liefs, wufsten wir uns von der Gesammtheit dieser Thatsachen nicht anders Rechenschaft zu geben, als indem wir annahmen, dafs die Verstärkung des Muskelstromes durch das Enthäuten beruhe auf der freigegebenen Berührung der Muskeln mit dem Sauerstoff der atmosphärischen Luft.

Von dieser Annahme kann jetzt nicht mehr die Rede sein, nun wir gefunden haben, dafs nichtenthäutete Präparate sogar in Sauerstoff stundenlang verweilen können, ohne dafs ihr Strom sich entwickelt; dafs diese Entwickelung nur stattfinde, wenn die Präparate am Multiplicator geprüft werden; dafs sie aber so wenig als mit dem Sauerstoff der Luft etwas zu schaffen habe mit dem Schliefsen der thierischen Theile zur Kette; dafs sie vielmehr lediglich beruhe auf der zufälligen Benetzung des natürlichen Querschnittes der Muskeln mit der Kochsalzlösung der Zuleitungsgefäfse, und ausbleibe, wenn diese Benetzung vermieden werde; dafs endlich die Kochsalzlösung in dieser Rolle ersetzt werden könne durch eine beliebige andere, leitende oder nicht leitende Flüssigkeit, wofern sie nur die Eigenschaft besitze, die thierischen Gewebe anzugreifen; ja dafs eine oberflächliche mechanische oder kaustische Zerstörung des natürlichen Querschnittes das Gleiche zu leisten im Stande sei.

In der That, von der Stufe der Kenntnifs aus, auf der wir jetzt angelangt sind, ist nichts leichter, als alle jene räthselhaften Erscheinungen nicht nur ganz genügend zu erklären, sondern auch die Richtigkeit dieser Erklärung durch die unwidersprechlichsten Gegenversuche zu beweisen.

Es ist ganz klar, diese Erscheinungen beruhten lediglich darauf dafs sich die Muskeln stets auf einer mehr oder weniger hohen Stufe des parelektronomischen Zustandes befinden (S. oben S. 118 ff.). Da aufserdem die Haut für den Muskelstrom eine schwächende Nebenschliefsung darstellt, so ist es ganz in der Ordnung, dafs die nicht enthäuteten

Digitized by Google

Gliedmafsen nur schwach elektromotorisch wirksam erscheinen. Es versteht sich nämlich von selber, dafs die Flüssigkeit, welche die innere Hautfläche benetzt und die Lymphräume erfüllt, nicht entwickelnd wirkt. Denn wäre dies der Fall, so würde man nie einen parelektronomischen Muskel mit unentwickeltem Strome sehen. Auch kann man sich hievon, zum Ueberfluſs, durch den Versuch überzeugen. Man braucht nur einen parelektronomischen Gastroknemius in ein Stück Froschhaut zu wickeln, deren innere Fläche nach innen gekehrt ist. Sein Strom bleibt völlig auf derselben Stufe stehen (Vergl. oben S. 64).

Hingegen die äufsere Seite der Haut wirkt stark entwickelnd. Ein parelektronomischer Gastroknemius, in ein Stück Haut gewickelt, deren Aeufseres nach Innen gekehrt ist, hat sehr bald nahezu seinen vollen Strom. Es genügt, die Ausbreitung der Achillessehne auch nur ein wenig mit der äufseren Seite der Froschhaut zu reiben, um alsbald den Strom hervortreten zu sehen. Dies Ergebnifs erscheint nach dem, was wir im ersten Paragraphen über die Beschaffenheit der Hautabsonderung ermittelt haben (S. oben S. 17), wohl in der Ordnung.

Zieht man einer Gliedmafse, nachdem sie behufs der Prüfung auf ihren Strom auf den Zuleitungsgefäfsen gelegen, die Haut ab, und später wieder über, so ist es nicht zu vermeiden, dafs dabei die Muskeln mit Kochsalzlösung benetzt werden und sich ihr Strom entwickele. Er erscheint alsdann stärker, als bei der Prüfung vor dem Enthäuten. Dies also ist der Schlüssel jener scheinbar durch das Enthäuten mit reifsender Schnelligkeit herbeigeführten räthselhaften Stromverstärkung, die mich so lange in die Irre geführt hatte. Es ist leicht zu zeigen, dafs dem wirklich so ist.

Man bereitet das Bein eines Frosches in der Art, dafs man vom Oberschenkel nichts behält als Knochen und Haut. Den Knochen spannt man in den oben Abth. I. S. 122 beschriebenen Schraubstock, und läfst einerseits vom Knie die Haut, andererseits den Fufs und Mittelfufs in die beiden Zuleitungsgefäfse hängen. Damit der Fufs herabhängen könne, mufs natürlich die Streckseite des Fufsgelenks nach oben, die des Kniegelenks nach unten sehen. Nach Zerstörung der Hautungleichartigkeiten findet man einen schwachen aufsteigenden Strom vor. Trennt man nun die Haut des Unterschenkels durch einen Zirkelschnitt am Kniegelenk, und durch einen Längsschnitt über der Tibia, und zieht sie nach unten zu ab, doch so, dafs sie nicht mit der Salzlösung des Zuleitungsgefäfses für den Fufs in Berührung kommt, so entsteht, wegen der fortgefallenen Nebenschliefsung durch die Haut, und des verminderten Widerstandes des Kreises an der Stelle, wohin man sie zurückgeschlagen hat, ein leichter positiver Ausschlag; wenn sich nicht, was auch

Digitized by Google

eintreten kann, eine unregelmäfsige Wirkung von Seiten der Hautungleichartigkeiten einmischt. Dabei aber hat es sein Bewenden. Wie es sich nach allem Vorhergegangenen von selbst versteht, man kann den Unterschenkel in dieser Lage vertrocknen lassen, ohne dafs sich mehr als jene uns schon bekannte Spur von Stromentwickelung kund gäbe, die auch an ganz sich selbst überlassenen Muskeln sich nicht selten einstellt (S. oben S. 102). Ebensowenig äufsert das Wiederüberziehen der Haut einen Einflufs; man mufs jedoch, damit der Versuch gelinge, sowohl beim Abziehen als beim Wiederüberziehen der Haut die gröfste Obhut darauf haben, dafs sie sich nicht umlege, und ihre äufsere Fläche mit dem natürlichen Querschnitt der Muskeln in Berührung komme, widrigenfalls, wie so eben bemerkt worden ist, sich sofort lebhafte Stromentwickelung einstellt. Deshalb ist es rathsam, wie anempfohlen wurde, den Längsschnitt durch die Haut des Unterschenkels über der Tibia anzulegen, damit nämlich eine etwaige Verunreinigung mit Hautschleim wenigstens minder leicht die Ausbreitung der Achillessehne treffe.

Läfst man nicht enthäutete Gliedmafsen, nachdem man sie auf ihren Strom geprüft hat, längere Zeit liegen, so entwickelt sich ihr Strom (S. oben S. 9). Dies ist eine natürliche Folge davon, dafs, mit der Zeit, die Salzlösung, welche die Präparate benetzt (S. oben S. 46), die Haut durchdringt und auf die Muskeln wie gewöhnlich einwirkt. Man kann dieselbe Wirkung viel rascher eintreten sehen, wenn man die Gliedmafsen ganz und gar unter Salzlösung bringt. Alsdann erhält man bereits nach wenigen Minuten einen so kräftigen positiven Ausschlag, wie ihn die beträchtliche Nebenschliefsung nur gestattet, welche von der mit der Lösung getränkten und benetzten Haut gebildet wird.

Es war also nicht, wie wir oben S. 24 wähnten, das lange Liegen an der Luft, welches hier den Strom herbeiführte, und ebensowenig war es der Zustand des Lebens, in Folge dessen er unentwickelt blieb in dem Fall des auf den Rahmen gespannten Frosches, dessen Füfse in das eine Zuleitungsgefäfs tauchten, während das andere durch den Sattelbausch mit seinem Rücken verbunden war. Sondern der Grund des Ausbleibens der Stromentwickelung in diesem Falle war einfach der, dafs dabei die Haut der Ober- und Unterschenkel mit der Salzlösung nicht in Berührung kam, wie in den vorigen Versuchen, und daher auch keine entwickelnde Flüssigkeit, wie dort, mit der Zeit zu den Muskeln dringen konnte. Dafs der Lebenszustand des Thieres jener Grund nicht war, lehrt der Erfolg beim Auflegen eines enthäuteten lebenden Frosches auf die Zuleitungsgefäfse; dabei werden die Muskeln mit Kochsalzlösung benetzt, und der Strom kommt zu Stande

Digitized by Google

(S. oben S. 5). Aber man kann diesem Versuch leicht noch eine bessere Gestalt geben, bei der namentlich das Enthäuten vermieden wird, welches für Manche, trotz allem Voraufgegangenen, doch ein Stein des Anstofses bleiben möchte.

Der lebende unversehrte Frosch wird auf den Rahmen gespannt, jedoch so, dafs nur das linke Bein in das Zuleitungsgefäfs für die Füfse taucht. Das rechte Bein wird seitlich an dem Rahmen festgebunden. Dies hat zum Zweck, dafs nicht das eine Bein Nebenschliefsung für das andere bilde, wenn der Strom an letzterem auf die gleich zu beschreibende Art entwickelt wird. Das Kreuz des Frosches steht in gewohnter Weise durch den Sattelbausch in Verbindung mit dem anderen Zuleitungsgefäfs, und die Nadel wird demgemäfs, nach Zerstörung der Hautungleichartigkeiten, in der kleinen beständigen Ablenkung gehalten, die der Gröfse des noch unentwickelten Stromes entspricht, in der ihm die Haut, als Nebenschliefsung, hervorzutreten erlaubt. Jetzt eröffne man durch einen kleinen Hautschnitt den Lymphraum des einen Unterschenkels und spritze ein Essigsäure, Höllensteinlösung, Ammoniak, Kreosot oder was man sonst will von entwickelnden Flüssigkeiten, gleichviel ob sauer, neutral oder alkalisch, ob leitend oder nicht leitend. Sofort erfolgt ein kräftiger positiver Ausschlag, und die Nadel kommt zur Ruhe in einer weit gröfseren beständigen Ablenkung als vorher. Man eröffne in gleicher Weise den grofsen vorderen Lymphraum des Oberschenkels (poche fémorale Dugès,[1] saccus femoralis Meyer[2]), und spritze auch hier eine der entwickelnden Flüssigkeiten ein. Es erfolgt abermals ein positiver Ausschlag, jedoch von geringerer Gröfse, dem Antheil entsprechend, mit dem die Muskeln des Oberschenkels zur aufsteigenden Wirkung des gesammten Beines beitragen.

Was endlich den Versuch mit dem nicht enthäuteten querdurchschnittenen Beine betrifft, so bedarf sein Ergebnifs jetzt keiner Erklärung mehr, da ja vielmehr das Ergebnifs der übrigen Versuche damit in Einklang gebracht worden ist. Der Erfolg jenes Versuches stand in Widerspruch mit dem der Versuche an den unversehrten thierischen Gliedern. Hier schien der Strom nur spurweise vorhanden zu sein, am enthäuteten querdurchschnittenen Beine fanden wir ihn sogleich in seiner ganzen Stärke vor. Der eine dieser Erfolge mufste eine Täuschung in sich tragen. Wir wissen jetzt, dafs es der erstere war. Der Strom

[1] Recherches sur l'Ostéologie et la Myologie des Batraciens à leurs différens âges. Paris 1834. 4°. p. 122. pl. V. fig. 40. 41. s.

[2] Jos. Meyer, Systema Amphibiorum lymphaticum Disquisitionibus novis examinatum. Dissertatio inauguralis. Berolini 1845. 4°. p. 9. tab. II. fig. XIII. XIV. *III*

Digitized by Google

ist an den unversehrten Gliedmafsen gerade so gut bereits in seiner vollen Kraft vorhanden als nach dem Querdurchschneiden derselben.

Diese Beweise für die Richtigkeit der Erklärung, die ich von der Schwäche des Muskelstromes am unversehrten gleichviel ob lebenden oder todten Frosch gebe, dürften wohl ausreichend erscheinen. Ein fernerer Beweis würde sichtlich darin liegen, wenn es uns gelänge nachzuweisen, dafs die Gröfse des positiven Ausschlages, den man vom unversehrten Frosch erhält, gleichen Schritt halte mit der Stufe der positiven Wirksamkeit, auf der man nachgehends seine Muskeln findet. Ich habe also in einer beträchtlichen Anzahl von Fällen die Stärke der positiven Wirksamkeit des unversehrten Frosches verglichen mit der seiner Gastroknemien. Es hat sich aber zwischen beiden keine stete Uebereinstimmung ergeben. Vielmehr kam es vor, dafs an einem verhältnifsmäfsig stark positiv wirksamen Frosche die Gastroknemien sich schwach positiv wirksam erwiesen. Indessen hat dies nichts zu sagen. Denn man entsinnt sich, dafs, obschon die Gastroknemien und Unterschenkelstrecker zur positiven Wirksamkeit des Galvani'schen Präparates beitragen, doch noch nach Entfernung dieser Muskeln das Präparat mit grofser Kraft positiv zu wirken fortfährt (S. oben Bd. I. S. 520). Man entsinnt sich ferner, dafs an einem und demselben Frosche verschiedene Muskeln auf sehr verschiedenen Stufen des parelektronomischen Zustandes gefunden werden (S. oben S. 126). Es ist also die Voraussetzung gar nicht gerechtfertigt, dafs eine stete Uebereinstimmung herrschen müsse zwischen der Stärke der positiven Wirksamkeit des unversehrten Frosches und der eines bestimmten Muskels, z. B. des Gastroknemius oder des Unterschenkelstreckers. Wäre es ausführbar, sämmtliche bei Erzeugung des Stromes des unversehrten Frosches betheiligte Muskeln einzeln auf die Stärke ihrer positiven Wirksamkeit zu prüfen, so würde die Summe ihrer Wirkungen mit der Wirkung des unversehrten Frosches doch wohl unstreitig gleichen Schritt halten.

Kurz, das aus alle dem mit zweifelloser Gewifsheit fliefsende Ergebnifs von höchster Wichtigkeit ist dieses, dafs am lebenden unversehrten Frosch sowohl als an den nicht enthäuteten Gliedmafsen des getödteten der Muskelstrom bereits vorhanden und nach denselben Gesetzen wirksam ist, welche wir an den einzelnen ausgeschnittenen Muskeln erkannt haben. Hiernach ist das oben Bd. I. S. 682 Gesagte zu berichtigen, »dafs die peripolare Anordnung ... während des unverletzten Lebens »der Muskeln im Körper nicht, oder nur spurweise und nicht mit Be»stimmtheit nachweisbar, vorhanden sei, dafs mehrere andere Anord»nungen in der Folge, als unserem Interesse gegenüber gleichberechtigt,

Digitized by Google

»sich uns darbieten würden, und dafs jene vor diesen nur dadurch »ausgezeichnet sei, dafs sie der Zustand zu sein scheine, in welchen »die Muskelmolekeln sich unter den Umständen, unter denen wir die »thierischen Glieder zu untersuchen pflegen, fast immer mit grofser Re»gelmäfsigkeit begeben (Vergl. auch oben Abth. I. S. 156).« Dieser, nunmehr als irrig erkannte Ausspruch beruhte abermals auf der falschen Vorstellung, die ich mir lange Zeit von dem Wesen des parelektronomischen Zustandes und der Stromentwickelung in diesem Zustande gemacht hatte, und durch die ich auch in die mannigfachen, oben S. 169 ff. bezeichneten Irrwege verleitet worden bin.

Was den Nervenstrom betrifft, so ist es freilich unmöglich, den unmittelbaren Beweis seines Daseins am lebenden unversehrten Thiere zu führen, wie dies so eben für den Muskelstrom geschehen ist. Nicht einmal an einem unversehrten Nerven kann ja dieser Beweis geführt werden, wegen des Mangels eines dazu geeigneten natürlichen Querschnittes der Nerven. Doch würde es keinen Sinn haben, an dem Dasein des einen dieser beiden Ströme im unversehrten lebenden Körper zweifeln zu wollen, nachdem das des anderen erwiesen ist. Man vergesse nicht, dafs an und für sich gar kein Grund vorhanden war, die Gegenwart der Ströme im unversehrten lebenden Körper in Abrede zu stellen. Es würde ein Mifsverständnifs sein, wenn man aus diesem Gesichtspunkte den Werth beurtheilen wollte, den wir so eben darauf legten, dafs es uns geglückt sei, diese Gegenwart für den Muskelstrom thatsächlich nachzuweisen. Der Zusammenhang ist vielmehr folgender. Obschon die Gegenwart des Muskelstromes am lebenden unversehrten Körper sich von selbst zu verstehen schien (S. oben S. 1), durften wir, der Strenge der Methode eingedenk, doch nicht unterlassen, uns davon durch den Versuch zu überzeugen, der hier wirklich angestellt werden konnte. Nun zeigte es sich, dafs, unserer Erwartung zuwider, der Muskelstrom am lebenden unversehrten Körper zwar nicht zu fehlen, aber doch nur spurweise vorhanden zu sein schien. Darauf, dafs durch die Entdeckung der parelektronomischen Schicht jetzt diese Dunkelheit beseitigt ist, wurde oben Werth von uns gelegt. Um so sicherer aber dürfen wir nun auch den Nervenstrom als unzweifelhaft im lebenden unversehrten Körper vorhanden betrachten, als ja für denselben, so wenig wie für den Muskelstrom, von vorn herein ein Bedenken in dieser Hinsicht obwaltete, und als aufserdem der Muskelstrom jetzt wirklich in seiner vollen Stärke am lebenden unversehrten Frosch nachgewiesen ist.

Digitized by Google

§. III.

Von der negativen Schwankung des Muskelstromes bei der Zusammenziehung an nicht enthäuteten Gliedmafsen und am lebenden unversehrten Thier.

Wir wissen jetzt, dafs der Muskelstrom am lebenden unversehrten Thier so gut als an den zugerichteten Muskeln vorhanden ist, auf die wir, bis zu diesem Kapitel, unsere Versuche beschränkt hatten. Es versteht sich sonach im Grunde von selbst, dafs die Bewegungserscheinung des Stromes, welche seine Zusammenziehung begleitet, eben so wenig am lebenden unversehrten Körper vermifst werden wird, als der ruhende Muskelstrom selber. Vielmehr wird die negative Schwankung des Stromes sogar noch leichter nachweisbar sein, da sie, wegen der parelektronomischen Schicht, leicht die positive Wirkung des ruhenden Muskels an Gröfse übertrifft (S. oben S. 144). Doch wollen wir es uns nicht verdrieſsen lassen, den thatsächlichen Beweis auch hiefür noch zu führen.

Dies kann mit keinen besonderen Schwierigkeiten verknüpft sein. Das einzige Hinderniſs, was am Frosch diesem Unternehmen in den Weg tritt, könnte in den elektromotorischen Wirkungen der Haut dieses Thieres liegen. Indessen sind wir durch die im ersten Paragraphen dieses Kapitels angestellte Untersuchung dieser Wirkungen in Stand gesetzt, dies Hinderniſs vollständig zu beseitigen.

Um zwei Hautstellen des Frosches bei ungleichzeitiger Berührung mit den von Kochsalzlösung durchzogenen Bäuschen oder mit der in den Zuleitungsgefäfsen enthaltenen Lösung selber elektromotorisch unwirksam zu machen, genügt es, wie man sich erinnert, sie einige Zeit hindurch mit der Lösung benetzt zu erhalten (S. oben S. 11). In den folgenden Versuchen wird der Kreis stets gebildet entweder durch Eintauchen der nicht enthäuteten Gliedmafsen in beide Zuleitungsgefäfse, oder es findet dieses Eintauchen nur auf der einen Seite statt, auf der anderen Seite wird der Sattelbausch zwischen der Lösung des einen Gefäfses und dem Rücken des Frosches angebracht. Auf alle Fälle sind also, wie wir erfahrungsmäfsig wissen, hier die Bedingungen erfüllt, damit nach wenigen Minuten die Haut in einen unwirksamen feuchten Leiter verwandelt sei und der Muskelstrom ungestört hervortrete, so weit es die Wirkung der Haut als Nebenschliefsung und die parelektronomische Schicht gestatten, welche die natürlichen Querschnitte sämmtlicher Muskeln überzieht. Doch würde es, bei den jetzt

Digitized by Google

zu beschreibenden Versuchen, nicht gerathen sein, es bewenden zu lassen bei dieser Art von Selbstberichtigung, wie sie die blofse Herstellung des Kreises mit sich bringt. Es kommt nämlich, wie man sich leicht denken kann, vor, dafs im Augenblick der Zuckung die Tiefe sich verändert, bis zu der die Glieder eintauchen, oder dafs der Sattelbausch sich am Rücken des Thieres verschiebt. Durch die damit verbundenen ungleichzeitigen Berührungen der Kochsalzlösung mit neuen Hautstellen entstehen vorübergehende Ströme, welche begreiflich zu argen Täuschungen Anlafs geben können. Man mufs daher Sorge tragen, dafs die in die Lösung unmittelbar getauchten Hautstellen noch in solcher Höhe über der Oberfläche der Lösung damit benetzt sind, dafs bei einem etwa vorkommenden tieferen Eintauchen derselben keine neue Berührungen zwischen Lösung und Haut eintreten können. Die Hautstelle aber, wo der Sattelbausch angelegt werden soll, mufs man stets in gröfserer Ausdehnung, als sie vom Bausch berührt wird, mit der gesättigten Kochsalzlösung bepinseln, damit gleichfalls bei einer etwa stattfindenden Verschiebung des Bausches keine neue Berührungen Platz greifen. Um so ausreichender erweisen sich übrigens schliefslich diese Vorkehrungen, als es sich hier ja nicht handelt um den Nachweis, ob ein Strom vorhanden sei oder nicht, sondern um die Veränderung eines schon bestehenden Stromes, wo es also gleichgültig ist, ob von dem beständig vorhandenen Strom ein Theil auf Rechnung der Hautungleichartigkeiten statt auf die der elektromotorischen Wirkung ruhender Muskeln kommt, wofern nur jener Antheil, zur Zeit der zu beobachtenden Aenderung des Muskelstromes, selbst keine Aenderung erleidet. Diese Vorkehrungen werden also in dem Folgenden stets bereits als getroffen vorausgesetzt.

Wir beginnen mit dem einfachsten Falle, dem eines nicht enthäuteten Unterschenkels vom Frosch. Um seinen Strom bequem ableiten zu können, bediente ich mich des bereits oben Abth. I. S. 121. 122. Abth. II. S. 175 angewendeten Schraubstockes. Der Unterschenkel wurde diesmal mit dem Fufsgelenk in den Schraubstock gespannt. Der Fufs tauchte wie früher unmittelbar in das eine Zuleitungsgefäfs. Die Beugung des Fufsgelenkes wurde durch den Schraubstock selbst verhindert. Um auch der Streckung ein Ende zu machen, durchschnitt ich die Achillessehne subcutan. Damit nicht, wie dies bei allgemeinem Tetanus der Unterschenkelmuskeln zu geschehen pflegt, die Schwimmhaut ausgespreizt werde, wurden die Zehen mit einem Faden fest zusammengeschnürt. Vom Kniegelenk hing auch diesmal die Haut des Oberschenkels, welche dicht unter dem Becken durch einen Zirkelschnitt getrennt war, in das andere Zuleitungsgefäfs herab. In der Kniekehle brachte ich ein Loch

Digitized by Google

in die Haut an, zu welchem ich den Sitzbeinnerven in's Freie, nach den Platinblechen der stromzuführenden Vorrichtung, hinausleitete.

Nachdem die Nadel unter dem Einfluſs des unentwickelten und durch Widerstand und Nebenschlieſsung geschwächten Muskelstromes zur Ruhe gekommen war, tetanisirte ich den Unterschenkel vom Nerven aus auf elektrischem Wege. Es erfolgte ein Ausschlag in absteigender Richtung, natürlich auch ziemlich schwach, wegen des bedeutenden in den Kreis eingeführten Widerstandes der Fuſswurzel und der Oberschenkelhaut und wegen der durch die Haut dargebotenen Nebenschlieſsung.

Legte ich der im Schraubstock nach oben gekehrten, folglich in's Freie sehenden Wade des Unterschenkels den Nerven eines stromprüfenden Froschschenkels an, so daſs der Nerv über natürlichem Längs- und Querschnitt des Gastroknemius befindlich war, so zeigte der stromprüfende Schenkel bei einzelnen Zuckungen des eingespannten Schenkels die secundäre Zuckung, und gerieth in secundären Tetanus, wenn ich die primären Zuckungen sich zu stetigem Starrkrampf verschmelzen lieſs.

Man könnte fragen, ob nicht vielleicht in diesem Falle die secundären Zuckungen herrühren von Hautströmen, die durch Verschiebung des Nerven auf der Haut im Augenblick der Zuckung bedingt werden. Allein erstens könnte dann doch kein secundärer Tetanus entstehen, denn im Verfolg des Tetanus verändert ja der ursprünglich zuckende Muskel seine Lage und Gestalt nicht mehr. Für's zweite verschiebt sich der stromprüfende Nerv gar nicht auf der Haut, wenn man ihm nur Spiel genug läſst, ihren Bewegungen zu folgen, weil er zu leicht ist und ihr zu fest anklebt. Drittens erhält man keine Zuckungen, wenn man den Nerven absichtlich auf der Haut hin und herschiebt. Endlich bleibt die secundäre Zuckung aus, wenn man dem Nerven solche Lagen ertheilt, daſs er nicht vom Muskelstrom durchflossen ist. Aus allen diesen Gründen, von denen jeder einzelne ausreichen würde, ist, wie man sieht, an die ausgesprochene Verdächtigung hier gar nicht zu denken.

Es lag nahe, diese Versuche auch auf den lebenden ganz unversehrten Frosch zu übertragen. Die eine der Anordnungen, deren ich mich dazu bediente, findet sich abgebildet Fig. 24. Taf. III. Bd. I. Man sieht den Frosch auf dem bekannten Rahmen ausgespannt, die Füſse in das eine Zuleitungsgefäſs getaucht, und den Sattelbausch die Kette vervollständigend zwischen dem Kreuz des Frosches und dem anderen Zuleitungsgefäſse. Am Rücken des Frosches sind Hautklemmen angebracht (S. oben Bd. I. S. 456. Fig. 25. 26. Taf. III. Bd. II. Abth. I. S. 56. 605. Fig. 142. Taf. V). Die Nadel nimmt, unter dem Einfluſs des Muskelstromes, wie er gerade beschaffen ist, eine beliebige Stellung

Digitized by Google

meist ziemlich nahe dem Nullpunkt ein. Sobald man beginnt, wie die Doppelpfeile in der Figur es andeuten, durch den Froschrumpf mit Hülfe der Klemmen den tetanisirenden Strömungsvorgang hindurchzuschicken, sieht man die Nadel, gleichviel welche Richtung der gerade vorhandene Strom hat (S. oben S. 173), stets im absteigenden Sinne einen Ausschlag beschreiben, dessen Gröfse sich hier bis auf 45° belaufen kann. S. den Pfeil längs den Beinen des Frosches in der Figur.

Legt man den Nerven eines stromprüfenden Froschschenkels der Wade des Frosches wie vorhin des bloſsen Unterschenkels an, so erfolgen für einzelne Inductionsstöfse secundäre Zuckungen des Schenkels, und beim Tetanisiren secundärer Tetanus.

Es wird gewifs nicht an solchen fehlen, die den Beweis verlangen, dafs der absteigende Ausschlag nicht herrühre von Schleifen des erregenden Stromes, die in den Multiplicatorkreis einbrechen, und die secundären Zuckungen von dergleichen Schleifen, die sich bis in die Beine erstrecken. Der Beweis ist in beiden Fällen leicht zu führen.

Was den Ausschlag am Multiplicator betrifft, so könnte die Wirkung der in den Multiplicatorkreis einbrechenden Schleifen des tetanisirenden Strömungsvorganges keine andere sein, als doppelsinnige Ablenkung, wie wir schon mehrmals zu bemerken Gelegenheit hatten (S. oben Abth. I. S. 44. 51. 430). Diese ist stets vom Nullpunkte fort gerichtet, gleichviel auf welcher Seite des Nullpunktes die Nadel befindlich ist. Hingegen in dem vorliegenden Falle findet der Ausschlag stets nach einer und derselben Seite statt, derjenigen nämlich, welche der absteigenden Stromesrichtung in den Beinen des Frosches entspricht; und sollte die Nadel zufällig bereits in dem negativen Quadranten verweilen, so kann man zeigen, dafs ihr Ausschlag beim Tetanisiren keine doppelsinnige Ablenkung ist, indem man sie durch ein Magnetstäbchen in den positiven Quadranten einstellt, wo dann die Wirkung, statt ihr Zeichen zu wechseln, unverändert negativ bleibt.

Rottet man ferner, nachdem man die Aorta abdominalis über ihrer Spaltungsstelle in die beiden Arteriae iliacae communes unterbunden hat, die beiden Ischiadgeflechte und -Nerven bis in die obere Schenkelgegend aus, so bleiben, bei mäfsig starken Schlägen, die Beinmuskeln in Ruhe, und mit ihnen die Nadel. Sind die Schläge sehr stark, oder hat man die Nerven, ohne Substanzverlust, einfach durchschnitten, so findet auch so noch Tetanus statt, indem hinlänglich starke Stromesschleifen sich bis zu den peripherischen Stümpfen der durchschnittenen Nerven in der Art begeben, wie dies aus Fig. 142. Taf. V ersichtlich wird. Alsdann wird auch noch die Nadel, in einem dem übrig gebliebenen Tetanus entsprechenden Mafse, negativ abgelenkt. Wartet man aber den Zeit-

Digitized by Google

punkt ab, den man auch durch unablässiges Tetanisiren schneller herbeiführen kann, wo selbst die allerstärksten Schläge nicht mehr im Stande sind, Zuckungen zu erregen, so bleibt die Nadel völlig unbewegt, selbst dann, wenn die Schläge an Stärke diejenigen viele hundertmal übertreffen, unter deren Einfluſs, so lange noch Muskeln zuckten, ein so beträchtlicher Ausschlag stattfand.

Man kann auch den Versuch recht zierlich dahin abändern, daſs man gleich anfangs nur auf einer Seite das Ischiadgeflecht zerstört, und abwechselnd das gesunde und das gelähmte Bein in den Multiplicatorkreis aufnimmt, während das andere wie oben S. 177 zur Seite gebunden wird. Natürlich erhält man dann bei Anwendung des gesunden Beines den Ausschlag der Nadel, bei Anwendung des gelähmten Beines Nichts.

Diese Gruppe von Gegenversuchen gilt nun auch für die secundäre Zuckung durch elektrische Zuckungen des lebenden unversehrten Frosches. Selbst bei sehr starken Strömen erstrecken sich keine Schleifen mit merklicher Kraft bis in's Kniegelenk. Man braucht also nur in der Kniekehle den Ischiadnerven zu zerschneiden, so bleibt der Gastroknemius in Ruhe, und mit ihm der stromprüfende Schenkel, dessen Nerv, über der Haut, dem natürlichen Längs- und Querschnitt des Gastroknemius entlang gelegt ist. An dem Beine, dessen Ischiadicus unversehrt ist, fährt dagegen die secundäre Zuckung zu erscheinen fort, zum Beweise, daſs ihr Ausbleiben am gelähmten Unterschenkel nicht etwa die Folge war einer Abnahme der Leistungsfähigkeit des stromprüfenden Froschschenkels.

Endlich, und zum Uebermaſs der Sicherheit, lassen sich beide Versuche, der am Multiplicator sowohl als auch der am stromprüfenden Schenkel, ohne alle Einmischung fremder elektrischer Ströme, ganz einfach mit Hülfe der Strychninvergiftung anstellen. Die Anordnung bleibt dabei ganz die nämliche, nur daſs die Vorrichtung zum Tetanisiren, die Hautklemmen u. s. w. fortfallen. Die Wirkung auf die Nadel giebt in recht günstigen Fällen der beim elektrischen Tetanisiren wenig nach. Schon bei den einzelnen Stöſsen von etwas längerer Dauer, die dem Ausbruch des eigentlichen Strychnintetanus vorhergehen und hier durch den Reiz der Kochsalzlösung an den Schwimmhäuten stets herbeigeführt werden, weicht die Nadel um mehrere Grade im negativen Sinne ab.

Schwieriger wahrzunehmen ist die secundäre Zuckung auf diesem Wege. Auch an enthäuteten Muskeln erfolgt sie nur in günstigen Fällen, da, um ihr Erscheinen möglich zu machen, mannigfache Umstände zusammentreffen müssen, die oben Abth. I. S. 515 aufgezählt worden sind. Vollends bei Gegenwart der Haut gelingt es nur selten, aber

Digitized by Google

es gelingt doch bisweilen unzweideutig, secundäre Zuckung zu erhalten.

Auch durch Zerbohren des Rückenmarkes eines geköpften Frosches gelingt es, die negative Schwankung des Muskelstromes der noch mit der Haut bekleideten Beine in geringem Maſse nachzuweisen (Vergl. oben Abth. I. S. 53. 517).

Schlieſslich giebt es, diese Versuche anzustellen, noch eine andere Art, bei der der Sattelbausch entbehrlich wird. Sie besteht darin, den Frosch mit beiden Füſsen rittlings in beide Zuleitungsgefäſse tauchen zu lassen, und nur das eine Bein zu tetanisiren. Man erreicht dies dadurch, daſs man das Ischiadgeflecht auf der Seite, welche in Ruhe bleiben soll, bis in den Oberschenkel hinein ausrottet für den Fall, daſs man auf elektrischem Wege tetanisiren will, oder es einfach durchschneidet, wenn man mit Strychnin zu vergiften beabsichtigt. Ich bemerke, daſs dies, von unserem Standpunkt aus, noch immer Versuche am lebenden unversehrten Thiere sind. Denn die Zurichtung, die wir am Frosch vornehmen, hat mit der elektromotorischen Wirkung, die wir nachmals beobachten, unmittelbar nichts zu schaffen. Diese Wirkung würde, bei völlig unversehrtem Leibe, genau in gleicher Art stattfinden, wenn man ein Mittel besäſse, ohne Verletzung des Nerven, mithin seiner Bedeckungen, das eine Bein zu lähmen, oder wenn man den Frosch dazu abrichten könnte, willkürlich das eine Bein tetanisch anzuspannen, während das andere schlaff bliebe.

Um den Frosch, in der zu diesem Versuch geeigneten Lage, unbeweglich zu machen, lieſs ich ihn auf einem in passender Höhe wagerecht aufgestellten hölzernen Stabe von 33^{mm} Durchmesser mit vorgebeugtem Rumpfe reiten, indem er zugleich mit den Vorderpfoten den Stab umarmte. Um jeden Oberarm war eine Schlinge gelegt, deren Ende unterhalb des Stabes mit dem Ende der Schlinge der anderen Seite zusammengebunden wurde. Um jede Fuſswurzel waren zwei Schlingen gelegt, deren Enden um den Stab zusammengebunden wurden, so daſs jedes Bein einzeln in seiner Lage befestigt war. Dies ist deshalb nothwendig, weil das gelähmte Bein dem nicht gelähmten nicht den gehörigen Widerstand entgegensetzt, so daſs wenn man die Beine wie die Arme zusammenbinden wollte, die Beine ganz unsymmetrische Lagen annehmen würden. Endlich wurde das Becken durch einige Zirkeltouren einer schmalen Rollbinde fest gegen den Stab gedrückt. Die Zehen des gesunden Fuſses wurden zusammengebunden.

War die Nadel zur Ruhe gekommen und ich tetanisirte, sei's auf elektrischem Wege, sei's durch Strychnin, so entstand sofort eine Ablenkung in dem absteigenden Sinne für das unversehrte Bein, dessen

Digitized by Google

Muskeln am Krampf theilnahmen, im aufsteigenden Sinne für das gelähmte Bein, dessen Muskeln beim Tetanus erschlafft blieben. Da, bei diesem Versuch, der Widerstand der Kette etwa viermal gröfser sein mufste als bei den erstbeschriebenen, so kann es nicht auffallen, dafs die Wirkung auch bedeutend schwächer ausfiel, so dafs ich mich wenigstens beim Strychninkrampf mit Vortheil des Multiplicators für den Nervenstrom bediente, um sie in gröfserem Mafsstabe wahrnehmbar zu machen.

---

§. IV.

Von dem elektromotorischen Verhalten des lebenden unversehrten Menschen.

1. Einleitung.

Zwar geschieht der Bedeutung der in diesem Werke beschriebenen Versuche kein Eintrag dadurch, dafs der bei weitem gröfste Theil davon allein am Frosch angestellt ist. Die Physiologen wissen wohl, dafs, mit wenigen Ausnahmen, unsere Erfahrungen in diesem Gebiete sich noch völlig diesseits der Grenze bewegen, innerhalb welcher die Organisation aller Wirbelthiere, mit Einschlufs des Menschen, ja wahrscheinlich aller mit Nerven und Muskeln versehenen Thiere, also vielleicht aller Thiere überhaupt, gänzlich zusammenfällt. Auch haben wir nicht versäumt, wenigstens in Betreff der Grundthatsachen des Nerven- und Muskelstromes und des Gesetzes dieser Ströme, uns der Richtigkeit jenes Princips an verschiedenen Thieren, ja am Menschen selbst, zu vergewissern (S. oben Bd. I. S. 523. Bd. II. Abth. I. S. 261). Nachdem nunmehr die Gegenwart des Muskel- und Nervenstromes und ihrer Bewegungserscheinungen im lebenden ganz unversehrten Frosch von uns aufser Zweifel gesetzt ist, wird also wohl nicht leicht bei Jemand noch ein Bedenken darüber obwalten, ob diese Ströme und die gleichen Veränderungen derselben auch im lebenden unversehrten Menschen stattfinden.

Nichtsdestoweniger hat der Gedanke, wenigstens die eine oder die andere Erscheinung aus diesem Gebiete am eigenen Körper zu beobachten, etwas zu Lockendes, um nicht näher auf die sich jetzt dazu bietende Möglichkeit einzugehen. In der That es scheint, als ob man so gut als am Frosch auch am Menschen den Muskelstrom und seine negative Schwankung bei der Zusammenziehung während des unverletzten Lebens müfste sichtbar machen können. Zwar können sich verschiedene

Digitized by Google

Umstände diesem Vorhaben widersetzen. Es könnte z. B. die Anordnung der Muskeln an den menschlichen Gliedmafsen der Art sein, dafs es auf keine Weise gelänge, von den Gliedmafsen im Grofsen und Ganzen einen namhaften Bruchtheil des Muskelstromes abzuleiten. Es könnte ferner dem Muskelstrom die Lederhaut eine so gute Nebenleitung, oder die Oberhaut einen so grofsen Widerstand darbieten, dafs keine, an unseren jetzigen Stromprüfern bemerkbare Spur davon nach Aufsen zu gelangen vermöchte. Auch hier gilt übrigens, wie beim Frosch, die oben S. 180 gemachte Bemerkung, dafs diese Hindernisse viel eher für den ruhenden Strom als für seine negative Schwankung bei der Zusammenziehung werden eintreten können, wegen der Schwächung des ersteren durch die parelektronomische Schicht, deren Gegenwart, in bedeutender Ausbildung, wir nach den Versuchen am Kaninchen und der Taube (S. oben S. 123) wohl berechtigt sind, auch beim Menschen vorauszusetzen.

Auf alle Fälle lohnt es sich, den Versuch zu machen. Die Untersuchung beginnt, wie natürlich, damit, dafs wir uns zu befreunden suchen mit dem Kreise elektromotorischer Erscheinungen, zu denen das Anlegen der Multiplicatorenden an die Haut des lebenden menschlichen Körpers vielleicht schon allein Veranlassung giebt. So ist es in der That; und zwar werden wir dabei auf eine grofse Menge neuer, meist sehr fremdartiger und oft ganz unverständlicher Thatsachen geführt werden. Hinsichtlich des Verfahrens, welches wir dabei beobachten werden, wünschte ich Folgendes zu bevorworten.

Die hier zu beschreibenden Versuche, wenn sie auch äufserlich an Feinheit hinter vielen der früher beschriebenen zurückstehen, übertreffen an Mühseligkeit doch die Mehrzahl derselben. Nirgends in diesem ganzen Gebiet stöfst man auf solche unerklärliche Launen des Versuchs. Die Feststellung der unbedeutendsten Thatsache erfordert oft ganz unverhältnifsmäfsige Anstrengungen. Und während sonst die einmal erfundenen Vorrichtungen für lange Versuchsreihen auszureichen pflegten, kommen wir jetzt in den Fall, dafs fast ein jeder einzelne Versuch neue, wenn auch nicht verwickelte, doch oft sehr umständliche Anordnungen nöthig macht, wodurch diese Versuche zugleich die zeitraubendsten werden, die man sich denken kann.

Erwägt man nun, dafs die elektromotorischen Erscheinungen der Haut mit dem eigentlichen Zweck unserer Bestrebungen im Grunde nichts zu schaffen haben; dafs diese Erscheinungen grofsentheils, ja vielleicht sämmtlich, gar nicht in's Gebiet der physiologischen Elektricität, nach unserer oben Bd. I. S. 4 gegebenen Begriffsbestimmung, gehören; dafs es uns folglich überall nur darauf ankommen kann, sie gut genug zu ken-

Digitized by Google

nen, um nicht durch sie in die Irre geführt zu werden: so wird man es wohl natürlich finden, wenn ich hier überall den kürzesten Weg zum Ziel verfolgt, und die Erscheinungen, die mir dabei aufgestofsen sind, immer nur so weit beachtet habe, als dies nothwendig war, um mich der Richtigkeit meines Weges versichert halten zu dürfen. Vollends wird man mir darin Recht geben, wenn man hinzunimmt, dafs der ganze Vortheil, der aus unserer jetzigen Unternehmung erwächst, genau genommen auf die Befriedigung eines ganz unwissenschaftlichen Gelüstes hinausläuft. Denn mit dem Nachweis des Muskelstromes und seiner negativen Schwankung bei der Zusammenziehung am lebenden unversehrten menschlichen Körper, im Fall dieser Nachweis uns glücken sollte, würde doch eigentlich nichts gewonnen sein, als was sich für jeden Unbefangenen, der diesen Arbeiten gefolgt ist, bereits von selbst versteht.

Wir werden uns also im Folgenden oft auf die blofse Darlegung des Thatbestandes beschränken, ohne uns irgend weiter auf die Ermittelung des ursächlichen Zusammenhanges einzulassen. Höchstens dafs wir dann und wann eine ganz nah liegende Hypothese zur Prüfung heranziehen. Eine Beschränkung wichtigerer Art, der die folgende Untersuchung unterliegt, und auf welche diese Rechtfertigung Bezug hat, besteht darin, dafs bei weitem der gröfste Theil der Versuche nur an mir selber angestellt ist, während es wohl der Fall sein könnte, dafs hier namhafte individuelle Unterschiede obwalteten. Ich habe aber eine solche Mühe gehabt, die darzulegenden Thatsachen auch nur an mir selber auszumitteln, und die Langwierigkeit und Umständlichkeit der Versuchsreihen ist so grofs, dafs ich mich gezwungen gesehen habe, die Feststellung der entsprechenden Verhältnisse an anderen Individuen Denen zu überlassen, die sich dafür interessiren sollten. Für meinen Zweck war es hinreichend, die hier obwaltenden Verhältnisse an mir selber mit hinlänglicher Genauigkeit erforscht zu haben.

Ehe wir zur Untersuchung selber schreiten, wird es zweckdienlich sein, hier zunächst dasjenige voraufzuschicken, was durch frühere Bestrebungen anderer Forscher bereits bekannt geworden ist über eine der allgemeinsten physikalischen Bedingungen der jetzt anzustellenden Versuche, den Widerstand nämlich, den der menschliche Körper unter verschiedenen Umständen dem elektrischen Strome darbietet.

2. Von dem Leitungswiderstande des menschlichen Körpers.

Ueber die Leitung des Stromes durch den menschlichen Körper hat man früh ziemlich richtige Begriffe gehabt.

Man hatte bald erfahren, dafs die pflanzlichen und thierischen Theile

Digitized by Google

nur leiten vermöge der in ihnen enthaltenen Feuchtigkeit; dafs sie, getrocknet, zu Nichtleitern werden,[1] wie es denn angeblich gelungen war, aus getrockneten Nerven eine Elektrisirmaschine zu verfertigen (S. oben Bd. I. S. 11. 12); dafs, im feuchten Zustande, ihre Leitungsgüte, gleich der der feuchten Leiter überhaupt, aufserordentlich nachsteht der der Metalle, woraus Cavendish die bis zu ihm mifsdeutete Erscheinung erklärte, dafs der menschliche Körper, als Nebenschliefsung zu einem metallischen Leiter angebracht, der die Kleist'sche Flasche entladet, keine Erschütterung erfährt (S. oben Bd. I. S. 563. 564).

Man wufste auch schon zu Ende des vorigen Jahrhunderts, dafs die thierischen Flüssigkeiten, mithin der von ihnen durchtränkte Körper, bessere Leiter sind, als das reine Wasser. Ueber diesen Punkt aber hatte man mehrere falsche Vorstellungen. Ritter sagt, thierische Masse und Flüssigkeit leiteten ausgemacht besser, als andere Flüssigkeiten, ja auch wohl als selbst Kochsalzlösung.[2] Ohne die Ursache davon etwa nur in der Verminderung des Widerstandes durch die erhöhte Temperatur zu suchen, nahm man an, dafs der lebende Körper besser leite, als der todte.[3]

Vielleicht auf Grund eines schlechten Versuches von Herbert,[4] den

[1] Ausdrücklich finde ich dies zuerst ausgesprochen von Bertholon in Rozier, Observations sur la Physique, sur l'Histoire naturelle et sur les Arts etc. t. VIII. Paris 1776. 4°. p. 211. 377.* — S. sodann seine Werke de l'Électricité des végétaux etc. Paris 1783. p. 113;* — De l'Électricité du corps humain dans l'état de santé et de maladie. Paris 1786. t. I. p. 178.* — Es folgen Herbert, Theoriae Phaenomenorum electricorum quae seu Electricitatis ex redundante Corpore in deficiens Trajectu, seu sola Atmosphaerae electricae Actione gignuntur. Editio altera etc. Vindobonae 1778. p. 196;* — Steiglehner in van Swinden, Recueil de Mémoires sur l'Analogie de l'Électricité et du Magnétisme etc. A la Haye 1784. t. II. p. 126;* — Hemmer, in Historia et Commentationes Academiae electoralis Scientiarum et elegantiorum Litterarum Theodoro-Palatinae. 1784. 4°. Vol. V. physicum. p. 156;* — Volta, Collezione dell' Opere ec. Firenze 1816. t. II. p. I. p. 20. §. 12;* — Dessen Schriften über die thierische Elektricität u. s. w. Aus dem Italiänischen übersetzt. Herausgegeben von Mayer. Prag 1793. S. 13.*

[2] Beiträge zur näheren Kenntnifs des Galvanismus und der Resultate seiner Untersuchung. Jena. Bd. I. St. 3. 4. 1802. S. 269.*

[3] Vergl. oben Abth. I. S. 215. S. z. B. Volta in seinem Brief an Banks, Collezione dell' Opere ec. t. II. p. II. p. 112. 130.* — Saxtorph's Darstellung der gesammten auf Erfahrung und Versuche gegründeten Elektricitätslehre u. s. w. Aus dem Dänischen übersetzt von Boëtius Fangel. Kopenhagen 1804. Bd. II. S. 136.* — Sogar noch Humphry Davy scheint etwas dergleichen im Sinne gehabt zu haben bei seiner Angabe in Gilbert's Annalen der Physik. 1801. Bd. VII. S. 116.*

[4] Theoriae Phaenomenorum electricorum etc. Editio altera etc. Vindobonae 1778. p. 196.*

Digitized by Google

Steiglehner [1] und Hemmer [2] mit gleichem Erfolg angestellt haben wollen, und ohne Berücksichtigung der entgegenstehenden Angaben von Priestley [3] und Mauduyt [4] schrieb man den Nerven eine besondere Leitungsgüte zu,[5] Ritter selbst eine gröfsere, als die irgend einer Flüssigkeit, deren man sich ohne Nachtheil Behufs der Zuleitung bei galvanischen Versuchen am lebenden Körper bedienen kann.[6] Dasselbe findet sich von den Knochen angegeben,[7] und diese schwerlich gerechtfertigte Meinung hat sich bis auf die neueste Zeit fortgepflanzt.[8] Ja ich selbst mufs bekennen, im Anfang meiner Bestrebungen auf diesem Gebiete ihr auf Treu und Glauben gehuldigt, und eine Schlufsfolgerung darauf gebaut zu haben, die mir jetzt freilich noch einigermafsen der Grundlagen zu entbehren scheint.[9]

Während man so dem lebenden Körper dem todten gegenüber auf der einen Seite gern eine besondere Leitungskraft zusprach, glaubte man auf der anderen zu der Annahme berechtigt zu sein, dafs der Körper unter Umständen auch seine Leitungsfähigkeit einbüfsen und zum Nichtleiter werden könne, ohne dafs der Grund davon in einer gröfseren Trockenheit der Oberhaut gesucht werden dürfe.[10]

[1] van Swinden, Recueil de Mémoires sur l'Analogie de l'Électricité et du Magnétisme etc. A la Haye. 1784. t. II. p. 126.*

[2] Historia et Commentationes Academiae electoralis etc. Theodoro-Palatinae. 1784. 4°. Vol. V. physicum. p. 156.*

[3] The History and present State of Electricity etc. London 1767. 4°. p. 656;* — Uebersetzt von Krünitz. Berlin und Stralsund 1772. 4°. S. 430. 431.*

[4] Histoire de la Société Royale de Médecine etc. Année 1776. Paris 1779. 4°. Mémoires etc. p. 522. 525.*

[5] Vergl. Saxtorph's Darstellung der gesammten ... Elektricitätslehre u. s. w. Bd. II. S. 109. 134. 136.*

[6] Beiträge u. s. w. Bd. I. St. 3. 4. S. 263.*

[7] Saxtorph's Darstellung der gesammten ... Elektricitätslehre u. s. w. Bd. II. S. 135.* — Die entgegengesetzte Behauptung lese ich indessen bei Valli in Reinhold's Geschichte des Galvanismus u. s. w. Leipzig 1803. S. 36* und in Cavallo's vollständiger Abhandlung der theoretischen und praktischen Lehre von der Elektricität u. s. w. Aus dem Englischen u. s. w. Leipzig 1797. S. 263.* — Ueber die Leitung trockener Knochen s. v. Humboldt in seinen Versuchen über die gereizte Muskel- und Nervenfaser. Posen und Berlin 1797. Bd. I. S. 433 ff.*

[8] S. Pickford in Henle und Pfeuffer's Zeitschrift für rationelle Medicin. Bd. VI. 1847. S. 398;* — Bd. VII. 1849. S. 251.* — Vergl. auch Valentin's Behauptungen oben Bd. I. S. 150.

[9] Vorläufiger Abrifs u. s. w. in Poggendorff's Annalen u. s. w. 1843. Bd. LVIII. S. 29. §. 73.

[10] Valli in Cavallo's vollständiger Abhandlung ... der Elektricität u. s. w. Bd. II. S. 262;* — v. Humboldt, Versuche über die gereizte Muskel- und Nervenfaser u. s. w. Bd. I. S. 158 ff.* — Saxtorph, Darstellung der gesammten ... Elektri-

Digitized by Google

In der That, trotz dieser verschiedentlich irrigen Vorstellungen, sahen doch bereits Volta, v. Humboldt und Ritter, vorzüglich der Letztere, völlig klar über die wichtige Rolle, welche die Oberhaut bei der Leitung durch den menschlichen Körper spielt. Die Einsicht, dafs die Oberhaut der vornehmste Sitz des Widerstandes sei, den der Körper dem Stromesdurchgang entgegenstellt, führte Volta darauf, Zunge und Auge, wo jener Widerstand von Natur fehlt, mit ungleichartigen Metallen zu bewaffnen, um am lebenden unversehrten menschlichen Körper ihre Wirkung sichtbar zu machen (S. oben Bd. I. S. 53. 55), während, durch dieselbe Kenntnifs geleitet, v. Humboldt seine Versuche mit Blasenpflasterwunden unternahm, wo der Widerstand der Oberhaut also künstlich hinweggeschafft war (S. oben ebendas. S. 288 Anm.).[1] Nach Ritter ist die trockene Oberhaut fast ein vollkommener Nichtleiter. Je feiner und dünner sie sei, einen um so geringeren, je gröber und stärker, einen um so gröfseren Widerstand setze sie dem Strom entgegen. Mit dem Grade ihrer Durchfeuchtung, mit der Leitungsgüte der durchfeuchtenden Flüssigkeit sinke dieser Widerstand. Noch mehr sei dies der Fall, wenn durch Entfernung der Oberhaut in Wunden das feuchte Innere des Körpers entblöfst werde.[2]

Es ist mir nicht bekannt, dafs von hier ab, bis zu den gleich zu erwähnenden neueren Arbeiten, etwas Redewerthes über die Leitungsverhältnisse des menschlichen Körpers geschrieben worden sei. Nur dafs bereits 1805 durch Heidmann[3] und 1830 nochmals durch Person (S. oben Abth. I. S. 233 und vergl. ebendas. S. 236. 237. 245) der Wahn widerlegt wurde, als seien die Nerven durch ihr Leitvermögen ausgezeichnet vor anderen thierischen Theilen. Erst nachdem die Ohm'sche Lehre den Begriff des Widerstandes genauer festgestellt und Mittel zur Widerstandsmessung an die Hand gegeben hatte, wendeten sich mehrere Forscher der Bestimmung dieser Constanten auch am menschlichen Körper zu, nämlich nacheinander Eduard Weber (1836), Pouillet (1837), und Lenz und Ptschelnikoff (1842). (Die Citate s. oben Abth. I. S. 75 Anm.) Leider sind diese, sonst zum Theil höchst sorgfältig und einsichtig geführten Untersuchungen jedoch sämmtlich durch den Umstand entwerthet, dafs die Polarisation der Elektroden dabei unberücksichtigt blieb.

citätslehre u. s. w. Bd. II. S. 136.* — Hieher gehört die bereits von Sigaud de la Fond widerlegte Fabel dafs Castraten nicht leiten. S. dessen Précis historique et expérimental des Phénomènes électriques etc. Paris 1781. p. 285.*

[1] Versuche über die gereizte Muskel- und Nervenfaser u. s. w. Bd. I. S. 152 ff. 204. 319.*

[2] Beiträge u. s. w. a. a. O. S. 258. 259. 262.*

[3] Gilbert's Annalen der Physik. 1805. Bd. XXI. S. 103. 105. 106.*

Digitized by Google

Eduard Weber, der im physikalischen Laboratorium zu Göttingen mit Wilhelm Weber seine Versuche anstellte, verfuhr einfach folgendermafsen. Durch Verschieben einer Drahtrolle zwischen bestimmten Grenzen über ein eigenthümlich angeordnetes System von Magnetstäben erregte er einen Inductionsstrom, dem also stets eine gleiche Summe elektromotorischer Kräfte zu Grunde lag. Die Stärke dieses Stromes bestimmte er durch Beobachtung des Ausschlages, den der Strom an dem Poggendorff-Gauss'schen Magnetometer-Multiplicator hervorbrachte. Aus dem Ausschlag α bei metallisch geschlossenem Kreise, und dem α_1 bei Einschaltung des zu messenden Widerstandes w, wurde letzterer berechnet nach der Formel

$$w = \frac{\alpha}{\alpha_1} - 1,$$

den Widerstand des metallisch geschlossenen Kreises $= 1$ gesetzt. Zuerst bestimmt Weber auf diese Weise die Leitungsfähigkeit des destillirten Wassers bei verschiedenen Temperaturen im Verhältnifs zu dem des Kupfers. Dann theilt er die Längen einer Säule destillirten Wassers von einem Quadratmillimeter Querschnitt und 37°.7 C. Wärme mit, deren Widerstand dem des menschlichen Körpers unter verschiedenen Umständen gleich sein würde.

Ohne, wie es scheint, von Weber's Arbeit Kenntnifs zu haben, schlug Lenz fast genau den nämlichen Weg ein. Er überliefs Ptschelnikoff die eben erst begonnene Arbeit zur Durchführung. Dagegen ist ihm, wie die Angabe der Methoden, so auch die Zusammenstellung und Darlegung der Ergebnisse zu verdanken. Der Inductionsstrom wurde diesmal erzeugt durch Umlegen des Ankers einer Clarke'schen magnetoelektrischen Maschine aus der wagerechten in die senkrechte Lage oder umgekehrt. Die Stärke des Stromes wurde bestimmt durch Beobachtung des Ausschlages, den er an einem Nobili'schen Multiplicator hervorbrachte, und der Widerstand des Körpers auf dieselbe Weise berechnet wie von Weber, mit dem Unterschiede natürlich, dafs an die Stelle der Ausschläge selber die Sinus der halben Ausschläge traten. [1]

Es sind folglich die Zahlen, die aus beiden Untersuchungen hervorgingen, als zu hoch ausgefallen zu betrachten, und zwar am meisten die schon an und für sich höheren unter denselben, aus dem Grunde, dafs die Stärke der Polarisation langsamer wächst als die Stromstärke, und sich zuletzt einem beständigen Grenzwerth asymptotisch anschliefst (S. oben Abth. I. S. 437). Auch der Einflufs der Temperaturerhöhung auf die Verminderung des Widerstandes des destillirten Wassers ist na-

[1] Vergl. Lenz in Poggendorff's Annalen u. s. w. 1835. Bd. XXXIV. S. 392.

Digitized by Google

türlich von Weber zu hoch angeschlagen worden, da mit wachsender Temperatur die Polarisation abnimmt.[1] Weber's Zahlen, welche den Widerstand des Körpers in Längen destillirten Wassers angeben, werden sich übrigens, in Folge dieses Umstandes, der Wirklichkeit näher anschliefsen, als es der Fall sein würde, wenn sie jenen Widerstand in Kupferlängen darstellten. Nämlich sowohl Zähler als Nenner der Brüche, deren Werth diese Zahlen ausdrücken, werden durch die Berücksichtigung der Polarisation in gleichem Sinne, wenn auch nicht proportional, verändert, oder, mit anderen Worten, Weber mifst eine zu hoch veranschlagte Gröfse (den Widerstand des menschlichen Körpers) mit einem zu grofsen Mafsstab (dem Widerstand des destillirten Wassers).

Auffallend ist, dafs weder Weber noch Lenz sich selber diese Einwürfe gemacht haben. Zwar ist die Polarisation durch Ströme von sehr kurzer Dauer erst etwas später als solche ausdrücklich nachgewiesen worden.[2] Allein Beide wufsten, dafs unter den Umständen ihrer Versuche der hypothetische Uebergangswiderstand sich einstelle. Weber erwähnt seiner (S. unten), und Lenz hatte gerade erst kurz vorher auf seine Gegenwart in ähnlichen Versuchen den Schlufs gegründet, dafs, unabhängig von der Polarisation, die er bei Strömen von so kurzer Dauer ausgeschlossen glaubte, ein Widerstand des Ueberganges stattfinden müsse.[3] Da übrigens der Kreis nach dem Durchgang des Stromes geschlossen blieb, so sollte man meinen, hätte schon allein die Beobachtung des Rückschwunges der Nadel auf die Gegenwart der Polarisation aufmerksam machen können. Denn dieser Rückschwung mufste den Ausschlag auf der positiven Seite der Theilung nothwendig auf der negativen an Gröfse übertreffen, sobald die Nadel durch den Strom der Ladungen mehr an Geschwindigkeit gewann, als sie daran verlor durch den Widerstand der Luft und die etwaigen Kräfte des Fadens.

Wie dem auch sei, da weder von Weber noch von Lenz die Elektroden, die den Strom dem Körper zuführten, näher beschrieben sind, und da aufserdem die Art dieser Zuleitung, so weit sie mit Bestimmtheit erhellt, nirgends, wenigstens nicht hinlänglich nahe, übereinkommt mit derjenigen, die wir selbst in der Folge anwenden werden: so wird man es gerechtfertigt finden, wenn ich in Betreff der von Weber und Lenz erhaltenen Zahlenergebnisse auf die Abhandlungen

[1] S. oben Bd. I. S. 239. Bd. II. Abth. I. S. 83. — Vergl. Beetz im Repertorium der Physik u. s. w. Bd. VIII. Berlin 1849. S. 194. 245.

[2] S. oben Bd. I. S. 238. — Vergl. noch Vorsselman de Heer in Poggendorff's Annalen u. s. w. 1841. Bd. LIII. S. 34.

[3] Poggendorff's Annalen u. s. w. 1838. Bd. XLIV. S. 349; — 1839. Bd. XLVII. S. 586.

Digitized by Google

selber verweise. Statt aller nur dem Anschein nach genaueren Angaben stehe hier die Bemerkung, dafs der Widerstand des menschlichen Körpers, gemessen zwischen Stellen, die mit unversehrter Oberhaut bekleidet sind, wohl unter allen Umständen dem von mehreren Meilen eines Kupferdrahtes von 1^{mm} Dicke gleichkommt. Auch werden wir uns demgemäfs genöthigt sehen, bei den folgenden Untersuchungen fast ohne Ausnahme den Multiplicator für den Nervenstrom anzuwenden, dessen Gebrauch also fortan stets vorauszusetzen ist, wo sich nicht ausdrücklich das Gegentheil gesagt findet.

Ist aber auch dergestalt der Werth der von Weber und von Lenz und Ptschelnikoff gegebenen absoluten Widerstandsbestimmungen in Frage gestellt, so haben diese Untersuchungen doch eine grofse Anzahl von Verhältnissen aufgedeckt oder von Neuem bestätigt, welche durch die Vernachlässigung der Polarisation nicht berührt werden konnten. Gerade die Kenntnifs dieser Verhältnisse aber ist es, auf die es uns hier vor Allem ankommt, und weil die in Rede stehenden Untersuchungen in dieser Beziehung genügend erscheinen, habe ich es nicht für unumgänglich nöthig gehalten, mich selbst damit zu beschäftigen, tadelfreie Messungen des Widerstandes des menschlichen Körpers zu gewinnen. Zur Auseinandersetzung jener Verhältnisse aber schreite ich jetzt.

Eduard Weber besteht zunächst auf den Umstand, dafs der menschliche Körper nicht besser leitet, als es sich von einer warmen und etwas Salz aufgelöst enthaltenden, gleich grofsen und gleich geformten Wassermasse erwarten läfst, nämlich etwa zehn- bis zwanzigmal besser, als wenn er aus destillirtem Wasser bestände. Hieraus zieht Weber die bereits oben Abth. I. S. 235 erwähnten Schlüsse gegen die Ansicht, dafs die Nerven gute Leiter der Elektricität seien, wie es, seiner Meinung nach, ohne Zweifel der Fall sein würde, wenn sie von der Natur auserkoren wären, um elektrische Ströme zu leiten.

Weber macht sodann, offenbar ohne Kenntnifs der Ritter'schen Angaben (S. oben S. 191), auf die äufserst geringe Leitungsfähigkeit der Oberhaut aufmerksam, welche um so kleiner sei, je trockener die Oberhaut. Er sagt: »Tenuis enim epidermis humida atque frigida majorem resistentiam opponit, quam reliquum corpus humanum a manu dextra ad manum sinistram; eadem autem epidermis sicca quinquagies certe majorem opponit resistentiam. Propter maximam resistentiam, quam cuticula propagationi ictus galvanici opponit, fit, ut flumen galvanicum, si conductores cum epidermide in contactum venerint, non in ipsa seu circa corporis superficiem propagetur, sed epidermidem penetret et per internum corpus ad alterum locum epidermidis ducatur.«

Digitized by Google

Dies freilich würde auch dann der Fall sein, wenn die Oberhaut besser leitete; stets müfste sich der Strom über den ganzen Querschnitt des ihn führenden Gliedmafses verbreiten, nach Mafsgabe der Leitungsfähigkeit der verschiedenen Punkte dieses Querschnittes (Vergl. oben Bd. I. S. 151). »Quam ob rem cuticula propagationem galvanismi eo magis »impedit, quo crassior est. Quam quidem virtutem galvanismum pro»pagandi partibus corporis humidis sanguinem continentibus propriam »tantum iis in locis, quibus cuticula emplastro vesicatorio remota et »ablata est, aut quibus, ut in lingua, tenuissima et maxime madida est, »strictius investigabis. Sed aliis etiam locis vim, qua cuticula propaga»tioni resistit, imminuimus, si partes corporis diu aquae immergimus, »ita ut aqua substantiam cuticulae penetret. Non silentio denique prae»termittendum est, galvanismum e conductore cupreo facilius per cuti»culam in cutem penetrare, si cuprum cuticulam tangens calidius est. »Impedimentum propagationis igitur, quod in cuticula est, calore immi»nuitur.« (L. c. p. 14.*) Gegen den letzten Satz ist jedoch wieder einzuwenden, dafs diese Verminderung des Widerstandes beim Erwärmen der Kupfer-Elektroden auch abgeleitet werden kann, ja sogar bis auf Weiteres einfach abgeleitet werden mufs von der durch die Wärme verminderten Polarisation der Elektroden. Auch sagt dies Weber selbst p. 18*, nur dafs er statt der Polarisation, den hypothetischen Uebergangswiderstand durch die Wärme vermindern läfst. Wir werden übrigens demnächst selber Gelegenheit haben, auf diesen Punkt zurückzukommen.

An diese Weber'schen Angaben schliefsen sich folgende von Lenz und Ptschelnikoff. Wegen der geringen Leitungsfähigkeit der Oberhaut ist der Widerstand des Körpers von Hand zu Hand der Zahl der eingetauchten Finger, also der benetzten Hautoberfläche, fast umgekehrt proportional. Beim Eintauchen des übrigen Theils der Hand nimmt aber der Widerstand in geringerem Mafse ab, als die benetzte Oberfläche. »Dies scheint darauf hinzudeuten«, sagt Lenz, »dafs die Lei»tungsfähigkeit des Körpers proportional den Nervenenden ist, in welche »der Strom unmittelbar aus der Flüssigkeit eintreten kann; da der übrige »Theil der Hand dieser Enden weniger hat als die Finger, so wird eine »Vergröfserung der eingetauchten Fläche dort weniger betragen als hier.« Es ist jedoch nicht einzusehen, was die Leitungsfähigkeit mit der Zahl der Nervenendigungen zu schaffen haben solle. Denkbar wäre schon eher, dafs sie in einem geraden Verhältnifs stände zur Zahl der Schweifscanälchen, welche die Oberhaut durchbohren. Es bedarf aber auch dieser Erklärung nicht einmal, sondern jene Beobachtung beruht vielleicht ein-

Digitized by Google

fach darauf, dafs, je gröfser bereits die benetzte Hautstelle ist, einen um so geringeren Bruchtheil des Gesammtwiderstandes macht ihr Widerstand aus, und um so weniger folglich kann durch weitere Ausdehnung der Benetzung der Gesammtwiderstand vermindert werden.

Von der Länge der zuleitenden Flüssigkeitssäule zeigte sich der Widerstand des Kreises innerhalb gewisser Grenzen fast unabhängig. Der Widerstand dieser Säule verschwand also gegen den des Körpers. Dagegen nahm der Widerstand des Körpers sehr schnell ab mit dem eigenthümlichen Widerstande der Zuleitungsflüssigkeit. Bei Newawasser, demselben Wasser nach Zusatz von 1 Volum-Procent englischer Schwefelsäure, endlich nach Zusatz von 4 Procent, verhielten sich, unter sonst gleichen Umständen, die Widerstände des menschlichen Körpers wie die Zahlen 16.53, 6.06, 4.37. Dies ist nicht anders zu verstehen, als so, dafs die mit verdünnter Säure durchfeuchtete Oberhaut einen geringeren Widerstand besitze als die mit dem Stromwasser getränkte, und es folgt daraus abermals, dafs der gröfste Theil des Widerstandes des Körpers seinen Sitz in der Oberhaut habe.

Bei ausgedehnter Benetzung der Oberhaut kann ihr Widerstand, wie schon bemerkt, keinen so grofsen Bruchtheil des Gesammtwiderstandes des Körpers ausmachen wie bei eingeschränkterer Benetzung. Der Einfluſs der Leitungsgüte der Zuleitungsflüssigkeit auf den Gesammtwiderstand muſs deshalb kleiner sein bei ausgedehnter, gröfser bei einschränkter Benetzung der Oberhaut. In der That scheint sich dies, wie ich finde, in Lenz's zweiter Tabelle zu bestätigen. Das Verhältnifs der Leitungswiderstände beim Eintauchen in einprocentige und in vierprocentige Säure war nämlich für einen Finger 1.49; für vier Finger 1.46; für die ganze Hand nur 1.39.

Vollends zeigt sich die Oberhaut als vornehmster Sitz des Widerstandes in einem Versuche von Lenz und Ptschelnikoff, wo eine kleine blutige Schramme an der einen Hand den Widerstand des Körpers von Hand zu Hand von 6.06 auf 4.81 herunterbrachte.

Der kleinste von Weber beobachtete Widerstand fand statt, als beide Füfse in ein, und beide Hände in ein anderes Gefäfs mit Wasser getaucht und dem Boden der Gefäfse angedrückt wurden. Dabei erhellt indefs nicht, ob die Gefäfse metallisch waren und also zugleich als Elektroden dienten, was aus anderen, in derselben Abhandlung enthaltenen Versuchen wahrscheinlich wird, von denen bereits oben Bd. I. S. 488. Anm. 2 die Rede war. Der Widerstand von einem Fufs zu einer Hand scheint dem Widerstand von Hand zu Hand ungefähr gleich zu sein. Daraus läfst sich folgern, dafs der Widerstand eines Beines ungefähr

Digitized by Google

dem eines Armes gleichkommt, was in der Ordnung erscheint, da das Bein im Vergleich zum Arme etwa um so viel dicker, als länger, ist. Weber's Versuch, in welchem er den Strom von Fufs zu Fufs durch den Körper gehen liefs, ist nämlich leider nicht vergleichbar mit denjenigen seiner Versuche, in welchen der Strom von Hand zu Hand ging, weil in dem ersteren Versuch die Temperatur des zuleitenden Wassers höher war, und mit der Temperaturerhöhung dieses Wassers der Widerstand beträchtlich abnimmt, wie die Tabelle zeigt. Der Widerstand vom linken Fufs zur rechten Hand war kleiner als der von demselben Fufs zur linken Hand. Die Zunge von ihrem einen zu ihrem anderen seitlichen Rande zwischen Silberplatten bot merkwürdigerweise keinen viel kleineren Widerstand dar als der ganze Körper von Hand zu Hand. Ausnehmend viel gröfser aber fielen nun die Widerstände aus, die Weber beobachtete, als die trockenen Hände in Quecksilber getaucht, oder an Kupferplatten angedrückt wurden. Sie zeigten sich geringer, wenn die Metalle warm, gröfser, wenn sie kalt waren (Vergl. oben S. 195).

In Lenz und Ptschelnikoff's Versuchen findet sich der Schlufs, dafs Arme und Beine ziemlich gleichen Widerstand besitzen, insofern bestätigt, als sich für alle sechs möglichen Combinationen zwischen den vier Extremitäten der Widerstand fast beständig herausstellte. Doch zeigte sich an beiden Personen, an denen die Prüfung vorgenommen wurde, der Widerstand zwischen rechter Hand und linkem Fufs etwas gröfser als der zwischen linker Hand und rechtem Fufs. Um zu untersuchen, ob die Ursache in der Hand zu suchen sei, wurde die Brust mit einer befeuchteten kreisförmigen Kupferplatte von 2″ Durchmesser armirt, und dann der Strom von hier entweder zur rechten oder linken Hand, die dabei ganz eingetaucht wurden, hindurchgelassen. Der Widerstand der rechten Seite ergab sich als der gröfsere. Wegen der derberen Oberhaut der mehr gebrauchten rechten Hand erscheint dies im Grunde in der Ordnung. Da indessen in Weber's Versuchen der Widerstand der linken Hand der gröfsere war, so kann hier vielleicht noch eine Täuschung obwalten. Uebrigens fiel der Widerstand von der Brustplatte nach der Hand beträchtlich gröfser aus, als bei allen sechs Combinationen zwischen Händen und Füfsen. Beim Anfassen von messingenen Handhaben mit befeuchteten Händen war der Widerstand so grofs als zwischen Brustplatte und Hand. Noch gröfser war er, wenn vier Finger jeder Hand in trockenes Quecksilber getaucht wurden, aber doch nur ungefähr zweimal so grofs, als wenn beide Hände, oder Hand und Fufs, in angesäuertes Wasser tauchten. In Weber's Versuchen dagegen war der Widerstand beim Eintauchen der ganzen Hände in Quecksilber zehnmal gröfser als beim Eintauchen in Wasser von mittlerer Temperatur.

Digitized by Google

Dies ist eine Abweichung, welche die hier zu erreichende Genauigkeit eben in keinem sehr günstigen Licht erscheinen läfst.

Hieher gehört endlich auch der Versuch von Pouillet. Dieser hat nämlich nur einmal mittelst seiner Sinusbussole den Widerstand gemessen, den der menschliche Körper von Hand zu Hand einem beständigen Strome darbietet, wenn die (es wird nicht gesagt, mit welcher Flüssigkeit, also wahrscheinlich mit Wasser) benetzten Hände, oder zwei Finger derselben Hand bis zur Hälfte oder zum Drittel des ersten Fingergliedes in Quecksilber tauchten. Die Polarisation wurde nicht berücksichtigt. Der Widerstand wird im ersten Falle siebenmal kleiner angegeben als im zweiten, und zweimal kleiner als ihn Lenz und Ptschelnikoff fanden, wenn die ganzen Hände in angesäuertes Wasser tauchten. Dies ist wieder sehr auffallend, da Pouillet doch, wie gesagt, die Hände schwerlich mit etwas anderem als reinem Wasser benetzt hatte und zudem in seinen Versuchen die Polarisation unstreitig eine viel gröfsere Höhe erreichen konnte, als in denen der Petersburger Physiker.

Eduard Weber bezeichnet das Individuum, an dem die Versuche angestellt wurden, nicht näher; auch scheint es jedenfalls nur Eins gewesen zu sein. Lenz und Ptschelnikoff haben sich dagegen auch noch bemüht, die Unterschiede zu ermitteln, die sich zwischen den Widerständen mehrerer Personen von verschiedenem Alter, Geschlecht und Beschäftigung darbieten möchten. Diese Personen waren ein Knabe von 7, ein Jüngling von 17, ein Mädchen von 19, und drei Männer von 29, 35 und 43 Jahren, letzterer der körperlich arbeitenden Klasse angehörig. Es ergab sich merkwürdigerweise, dafs die Leitungswiderstände der drei jüngeren Personen bedeutend gröfser waren als die der drei älteren. Der Unterschied war kleiner, wenn die ganze Hand eingetaucht wurde, als wenn die Zuleitung nur durch einen oder mehrere Finger geschah; der Widerstand des jungen Frauenzimmers war alsdann nicht viel gröfser als der der erwachsenen Männer. Dies scheint, meiner Meinung nach, zu zeigen, dafs der gröfsere Widerstand der jüngeren Individuen bedingt wurde durch den muthmafslich geringeren Querschnitt ihrer Finger, was insofern ganz denkbar ist, als beim Durchgang des Stromes von Finger zu Finger, nächst der Oberhaut, doch gewifs die Finger es sind, die den gröfsten Widerstand darbieten.

Auch die Frage haben Lenz und Ptschelnikoff zu beantworten gesucht, ob die verschiedene Heftigkeit, mit der verschiedene Personen einen Schlag empfinden, von den verschiedenen Graden der Schwächung herrühre, welchen sie, vermöge ihres Widerstandes, auf den Strom ausüben. Es ergab sich aber gar keine Beziehung der Art aus dem Vergleich der Reihefolge der Personen nach ihrem Widerstande und

Digitized by Google

der Reihefolge nach der Heftigkeit, womit sie den Schlag empfanden.

Endlich ist Folgendes zu erwähnen. Weber hat den Widerstand des Körpers gröfser gefunden, wenn er die Drahtrolle (S. oben S. 192) langsam verschob, als wenn er sie schnell bewegte. Dies erklärt sich daraus, dafs die Stärke der Polarisation in einem gegebenen Kreise einen um so kleineren Bruchtheil der elektromotorischen Kraft des Stromes ausmacht, je gröfser diese ist, und dafs sie aufserdem einiger Zeit bedarf, um sich vollständig zu entwickeln. Der von Ptschelnikoff beobachtete Umstand hingegen, dafs bei einem und demselben Individuum die Erschütterung heftiger war, wenn der Anker aus der senkrechten in die wagerechte Lage gedreht wurde, und schwächer, wenn die Drehung in umgekehrter Ordnung geschah, gehört wohl in das Gebiet des allgemeinen Gesetzes der Nervenerregung durch den Strom (S. oben Bd. I. S. 258 ff.), in das ihn auch Lenz zu verweisen scheint; insofern nämlich in beiden Fällen nur die Curve eine verschiedene ist, in der die Abgleichung einer und derselben Elektricitätsmenge in der Zeit vor sich geht.

3. Von Thermoströmen am menschlichen Körper.

(1) Von der Möglichkeit, Thermoströme durch den menschlichen Körper hindurch wahrzunehmen und von Thermoströmen feuchter Leiter überhaupt.

In den Versuchen am Frosch, auf die wir uns bisher fast allein beschränkt haben, und den wenigen Versuchen an warmblütigen Thieren, die uns zur Ergänzung jener nothwendig erschienen sind, war die Bedingung gleicher Temperatur der beiden Ableitungsstellen der Ströme der Natur der Dinge nach stets von selber erfüllt, und es konnte uns deshalb gleichgültig sein, ob ungleiche Temperatur dieser Stellen elektromotorisch wirke oder nicht. In den Versuchen hingegen, die uns jetzt am lebenden Menschen bevorstehen, wird nicht selten der Zweifel erhoben werden können, ob die Bedingung gleicher Temperatur der beiden Ableitungsstellen in der That erfüllt sei. Es wird daher gerathen sein, erst noch die Untersuchung anzustellen, ob dieser Umstand überhaupt Berücksichtigung verdiene, oder mit anderen Worten, ob durch verschiedene Temperatur ein elektromotorischer Unterschied zweier sonst gleichartiger Hautstellen bewirkt werde.

Von vorn herein erscheint dies wenig wahrscheinlich. Es ist bisher mit Sicherheit kein Fall bekannt, in dem ein Strom entstände durch Temperaturunterschied feuchter Leiter. Von den Thermoströmen der

Digitized by Google

Metalle steht sodann fest, dafs ihnen eine so winzige elektromotorische Kraft zu Grunde liegt,[1] dafs sie in Kreisen von nur einigermafsen beträchtlichem Widerstande ganz verschwindend werden. Um wie viel weniger also, sollte man meinen, sind von Thermoströmen feuchter Leiter irgend erhebliche Wirkungen in so widerstehenden Kreisen, wie den unsrigen, zu erwarten, da dergleichen Ströme ja auch sonst noch gar nicht zur Wahrnehmung gelangt sind.

Diese Vorstellungen sind indefs trüglich. Was erstens die Möglichkeit betrifft, Thermoströme der Metalle in einem Kreise wahrzunehmen, in dem sich der Multiplicator für den Nervenstrom mit seinen 24160 Windungen des feinsten Kupferdrahtes und seinen Zuleitungsgefäfsen, und aufserdem der menschliche Körper befinden, so ist diese Möglichkeit, wie ich jetzt zu meiner Verwunderung gefunden habe (S. oben Bd. I. S. 488), in der That vorhanden.

Es ist schon oben Abth. I. S. 492 erwähnt worden, dafs die Nadel jenes Multiplicators mit Leichtigkeit den Strom anzeigt, den die Wärme der Finger in einem den Multiplicator metallisch schliefsenden thermoelektrischen Bügel aus Kupfer und Eisen erregt. Vollends die Erwärmung der einen Löthstelle mit der Weingeistflamme brachte sehr beträchtliche Ablenkungen hervor. Ich bemerke jetzt, dafs die Wirkung beim Erwärmen mit den Fingern, vollends die beim Erwärmen mit der Flamme, selbst dann noch sichtbar bleibt, wenn man in den Kreis des Multiplicators und der Thermokette die Zuleitungsgefäfse mit ihrem Schliefsungsrohr einschaltet.

Die Thermoströme erscheinen unter diesen Umständen nicht mehr beständig bei beständigem Temperaturunterschied der Löthstellen. Sondern die beständige Wirkung der Thermokette wird, gleich der einer beständigen Hydrokette, durch die Ladung der metallischen Multiplicatorenden sehr beeinträchtigt. Läfst man aber eine Löthstelle, nachdem sie eine Zeitlang glühend erhalten wurde, erkalten, so beobachtet man einen Rückschwung der Nadel von unverhältnifsmäfsiger Gröfse im Vergleich zu der vorigen beständigen Ablenkung. Der Rückschwung mufs allerdings gröfser sein, als wenn man z. B. die Kette einfach geöffnet hätte, weil die Kraft der Kupfereisenkette bei geringen Temperaturunterschieden die umgekehrte Richtung hat von der bei gröfseren.[2] Allein hier kommt zu dieser Ursache, um den Rückschwung der Nadel zu vergröfsern, noch der Umstand hinzu, dafs die durch den Strom beim Glühen der einen Löthstelle entwickelten Ladungen beim Erkalten in

[1] S. Kohlrausch in Poggendorff's Annalen u. s. w. 1851. Bd. LXXXII. S. 411.

[2] S. oben Abth. I. S. 492 und vergl. Hankel in Poggendorff's Annalen u. s. w. 1844. Bd. LXII. S. 479.

Digitized by Google

Freiheit gesetzt werden und sich mit der Erdkraft und dem sich umkehrenden Thermostrom zu Einer Wirkung auf die Nadel verbinden.

Ich vermuthe beiläufig, dafs dies das erste Mal ist, dafs Polarisation der Elektroden durch den Strom einer einfachen Thermokette beobachtet worden ist. Da die Polarisation aber das untrügliche Wahrzeichen voraufgegangener Wasserzersetzung ist, so verdient dieser Umstand, als Beweis der Elektrolyse durch ein einziges thermoëlektrisches Element, allerdings einige Aufmerksamkeit.

Wird, an Stelle des Schliefsungsrohres, der menschliche Körper zwischen die Zuleitungsgefäfse gebracht, indem man in jedes derselben einen Zeigefinger taucht, so kann man die Wirkung durch Erwärmen der einen Löthstelle mit den Fingern nicht mehr wahrnehmen. Hingegen mit Hülfe der Weingeistflamme erhält man noch sehr beträchtliche Ausschläge der Nadel, welche aber natürlich diejenigen an Gröfse nicht erreichen, die man wahrnimmt bei rein metallischer Schliefsung des Kreises, oder bei Einschaltung des Schliefsungsrohres statt des menschlichen Körpers.

Was zweitens die Erzeugung von Thermoströmen durch ungleich warme feuchte Leiter betrifft, so giebt es doch bereits einen Versuch von Nobili, der die Möglichkeit davon zu beweisen scheint. Nobili tauchte die Platinenden seines Multiplicators mit Doppelnadel in zwei Gefäfse mit Kochsalz- oder Salpeterlösung, und schlofs zwischen den Gefäfsen mit zwei Stäben aus feuchtem Thon von 2—3 Zoll Länge und 3—4 Linien Dicke, deren einer in eine Spitze auslief. Die Spitze erhitzte er, so dafs der Thon erhärtete und er sie tief in die knetbare Masse des anderen Stabes eindrücken konnte. Während dieses Eindrückens und so lange der Temperaturunterschied anhielt, beobachtete Nobili eine elektromotorische Wirkung in der Richtung vom heifsen Theil zum kalten in dem Thon. Sogar mit Hülfe des Frosches konnte Nobili diesen Strom nachweisen, indem er sich des oben Bd. I. S. 105. 106 angegebenen Kunstgriffes bediente. Dabei wurden die Thonstäbe mit ihrem gleich warmen Ende dem Nerven angelegt. Der Versuch gelang mit jeder Art von Thon, nicht aber mit Kalk, Baryterde oder Gyps.[1]

Ich habe diesen Versuch Nobili's mit Modellirthon von der hiesigen Königlichen Porzellanmanufaktur wiederholt, und genau den von Nobili angegebenen Erfolg beobachtet. Erhitzte ich die Spitze des einen Sta-

[1] Memorie ed Osservazioni edite ed inedite ec. Firenze 1834. vol. I. p. 80. 81. 87. 101.* — Nobili's erste Anzeige findet sich auch in Poggendorff's Annalen u. s. w. 1828. Bd. XIV. S. 174.* Die Parallelstellen hiezu s. oben Bd. I. S. 106. Anm. 1.

Digitized by Google

bes, so dafs sie eben zu dampfen anfing, so entstand beim Eindrücken der Spitze in das Ende des anderen Stabes ein Ausschlag von 90° am Multiplicator für den Nervenstrom. Erhitzte ich aber die Spitze stärker, so dafs sie weifs und rissig wurde, so wurde die Nadel des Multiplicators für den Nervenstrom an die Hemmung geschleudert, die des Multiplicators für den Muskelstrom ging auf 30—40°. Stets war der Strom, wie Nobili es angiebt, im Thon vom heifsen zum kalten Theil gerichtet, und spurlos verschwunden, sobald die Temperaturen sich ausgeglichen hatten. Es ist bei diesem Versuch ganz unwesentlich, dafs man dem Ende des einen Stabes die Gestalt einer Spitze gebe und diese Spitze in die Masse des anderen Stabes eindrücke. Dies Verfahren dient nur dazu, das Erhitzen des einen Stabes zu erleichtern, und die Berührung der beiden Stäbe unter sich inniger zu machen. Der Versuch glückt aber nicht minder, wenn man auch blos die beiden gleichmäfsig abgerundeten, ungleich warmen Enden der Stäbe aneinanderdrückt.

Es scheint demnach hier wirklich ein Thermostrom durch ungleich warme feuchte Leiter zu entstehen. Mit einer weiteren Zergliederung dieser Erscheinung, welche noch viel Dunkles hat, wollen wir uns nicht befassen. Es wäre aber wohl zu wünschen, dafs dieselbe einmal die Aufmerksamkeit eines Physikers nachhaltig auf sich zöge, damit man wenigstens erführe, wie sie sich beim Anrühren des Thones mit verschiedenen Flüssigkeiten, zwischen ausgedehnteren Grenzen der Temperatur verhält u. d. m. Mit einer anderen feuchten knetbaren Masse, nämlich der Krume eines nicht völlig gaaren Roggenbrodes, habe ich mich vergeblich bemüht, den Nobili'schen Versuch zu wiederholen, obschon die Krume offenbar ebenso gut oder ebenso schlecht leitete als der Thon.

Für uns ist hier vorzugsweise nur noch das zu bemerken, dafs die elektromotorische Kraft der Nobili'schen Thon-Thermokette, trotz dem so sehr viel kleineren Temperaturunterschiede, die Kraft der Kupfereisenkette beim Erglühen der einen und bei mittlerer Temperatur der anderen Löthstelle ohne Frage aufserordentlich übertrifft. Wenn ich die Kupfereisenkette im Kreise des Multiplicators für den Nervenstrom mit seinen Zuleitungsgefäfsen habe, das Schliefsungsrohr entferne, die eine Löthstelle glühend mache, und das Schliefsungsrohr wieder anbringe, erhalte ich einen Ausschlag von nur 18°. Hingegen die Nobili'sche Thon-Thermokette wirft erwähntermafsen die Nadel an die Hemmung. Nichtsdestoweniger ist in diesem Falle der Widerstand des Kreises um den Unterschied des Widerstandes der Thonstäbe und des Schliefsungsrohres gröfser, der gewifs ein ungeheurer ist. Daraus folgt mit Bestimmtheit die angedeutete grofse Ueberlegenheit der feuchten Thermokette an elektromotorischer Kraft über die metallische. Es kann demnach auch kein Zweifel

Digitized by Google

sein, dafs die feuchte Thermokette durch den menschlichen Körper hindurch kräftig die Nadel des Multiplicators für den Nervenstrom ablenken würde.

(II) Von dem elektromotorischen Verhalten zweier symmetrischen, unversehrten, gleichzeitig benetzten, und gleich warmen Hautstellen gegen einander.

Wir wollen nun zusehen, wie sich zwei ungleich erwärmte Stellen der Körperoberfläche elektromotorisch gegen einander verhalten. Natürlich wählen wir diese Stellen so, dafs wir von vorn herein annehmen dürfen, sie seien bei gleicher Temperatur gleichartig. Von symmetrischen Punkten der beiden Körperhälften scheint dies wohl vorausgesetzt werden zu können, da die Haut an solchen Stellen gleiche Beschaffenheit hat und die etwa vorhandenen Muskelströme sich auf beiden Seiten das Gleichgewicht halten. Nichtsdestoweniger müssen wir zuvörderst das elektromotorische Verhalten solcher Hautstellen erforschen.

Am bequemsten gelegen sind offenbar für unseren Zweck die Finger. Taucht man zwei unversehrte Finger gleichzeitig[1] in die mit gesättigter Kochsalzlösung gefüllten Zuleitungsgefäfse des Multiplicators für den Nervenstrom, so geschieht Folgendes. Es kommt allerdings vor, dafs die Nadel auf Null bleibt, wie wir es erwartet haben. Jedoch ist dieser Fall bei weitem der seltnere. Meist entsteht ein gröfserer oder geringerer Ausschlag in der einen oder in der anderen Richtung. In einigen gleichfalls seltneren Fällen sieht man diesen Ausschlag spurlos verschwinden, ohne dafs Ladungen hinterbleiben. Die elektromotorische Kraft, die ihn erzeugt hatte, ist also im Lauf des Versuches allmälig zu Grunde gegangen. In noch anderen Fällen, die aber glücklicherweise auch nicht häufig sind, hinterbleibt eine beträchtliche beständige Ablenkung. Endlich in der Mehrzahl der Fälle kommt zwar die Nadel so gut wie auf Null zurück. Schliefst man aber, statt mit den Fingern, oder neben denselben, durch das Schliefsungsrohr zwischen den Gefäfsen, so werden Ladungen frei, welche anzeigen, dafs ein schwacher beständiger Strom da war. Natürlich übertrifft der Strom der Ladungen an Stärke sehr den ursprünglichen Strom, der die Ladungen hervorgerufen hat, weil nämlich der Widerstand des Schliefsungsrohres im Vergleich zu dem des Körpers verschwindet (S. oben Bd. I. S. 240. 241). Nicht immer hat der zuletzt vorhandene beständige Strom die Richtung des ersten Ausschlages. Manchmal hat sich die elektromotorische Kraft ganz allmälig umgekehrt.

Dem Ausschlag beim ersten Eintauchen der Finger merkt man leicht

[1] Man wird später erfahren, worauf sich die Vorschrift bezieht, dafs die Finger sollen unverletzt sein, und gleichzeitig eingetaucht werden. S. unten, No. 4 und No. 6.

Digitized by Google

an, ob die Oberhaut trocken und derb, oder feucht und zart ist. Im ersten Fall entfernt sich die Nadel langsam vom Nullpunkt in dem Mafs, wie die Oberhaut durchfeuchtet wird; zu Zeiten so langsam, dafs sie sich ohne Schwingungen in die beständige Ablenkung begiebt. Hat man sich aber erst eben die Finger gewaschen, namentlich mit Seife, und sie dann abgetrocknet, so dafs die Oberhaut durchfeuchtet ist, oder ist sie dies von Natur in einem höheren Grade als gewöhnlich, so zeigt die Lebhaftigkeit des Ausschlages das rasche Hereinbrechen eines Stromes in voller Gröfse an. Bei dem von Natur gut leitenden Zustande der Oberhaut kommt es denn auch vor, dafs eine grofse beständige Ablenkung der Nadel hinterbleibt, und oft jede andere Beobachtung vereitelt. Was noch schlimmer ist, manchmal ist die Ablenkung nicht beständig, sondern die Nadel bleibt in einer fortwährenden Unruhe, die Ablenkung ist bald grofs, bald klein, ja sie verändert ihr Zeichen u. s. f. Dieser Zustand der Dinge tritt, wie es scheint, in Folge sehr langen Eintauchens der Finger manchmal auch dann ein, wenn anfangs eine ganz befriedigende Gleichartigkeit stattgefunden hatte.

So weit pafst diese Beschreibung, die übrigens, wie man sieht, so ziemlich alle mögliche Fälle umfafst, auf das elektromotorische Verhalten zweier beliebigen Finger einer oder beider Hände gegen einander. Das Verhalten meiner Zeigefinger habe ich aber noch genauer kennen gelernt, indem ich sie, bei Gelegenheit später zu beschreibender Versuche, im Laufe mehrerer Jahre und unter den verschiedensten Bedingungen unzählige Male in die durch den Multiplicator geschlossenen Zuleitungsgefäfse getaucht und mehr oder weniger lange darin gehalten habe. Es hat sich ergeben, dafs die beständige Ablenkung, welche stets dabei hinterbleibt, zu bestimmten Zeiten eine ganz bestimmte Richtung hat. Z. B. monatelang verhielt sich mein linker Zeigefinger positiv gegen den rechten.[1] Zu einer anderen Zeit war das Entgegengesetzte der Fall. Das Verhalten in den Uebergangszeiten habe ich nicht beobachtet. Diesen beständigen Strom meiner Zeigefinger werde ich in der Folge ihren Eigenstrom nennen, um ihn dadurch zu unterscheiden von solchen Strömen, die aus anderen vorübergehenden Ursachen zwischen denselben Fingern entstehen, und zu denen er sich algebraïsch summirt.

[1] Mit dieser Bezeichnung, die fortan häufig wiederkehren wird, ist gemeint, dafs der Strom aus dem linken Zeigefinger in die Lösung, und, nachdem er den Multiplicatordraht durchlaufen hat, aus der Lösung in den rechten Zeigefinger tritt. Der Strom ist aufsteigend im rechten, absteigend im linken Arm. Ich denke mir also an Stelle des menschlichen Körpers einen Zinkplatinbogen über die Zuleitungsgefäfse gebrückt, und vergleiche den linken Zeigefinger dem positiven, den rechten dem negativen Metall des Bogens.

Digitized by Google

Es ist natürlich nicht zu bezweifeln, dafs eine ähnliche Ungleichartigkeit auch noch zwischen beliebigen anderen Fingern und auch bei anderen Personen obwalten werde. Ich habe aber in dieser Beziehung noch keine gründlichen und umfassenden Versuche angestellt. Doch habe ich Grund anzunehmen, obwohl ich es nicht mit aller Bestimmtheit behaupten möchte, dafs sich stets alle Finger einer Hand auf die nämliche Art elektromotorisch verhalten gegen die entsprechenden Finger der anderen Hand. Zwischen dem elektromotorischen Verhalten, welches entsprechende, und demjenigen, welches nicht entsprechende Finger beider Hände oder verschiedene Finger derselben Hand gegeneinander zeigen, habe ich noch keinen Unterschied aufzufassen vermocht. Nicht einmal der Einfluſs des geringeren Widerstandes des Kreises in dem Fall verschiedener Finger derselben Hand ist mir deutlich geworden. Hinsichtlich des Erfolges dieser Versuche an anderen Personen weifs ich nur so viel als dafs sich auch bei ihnen, wenn sie nicht zur Klasse Derer mit allzu feuchter und zarter Oberhaut gehörten, wo keine sichere Beobachtung möglich ist, ein paar Stunden lang, ja an mehreren aufeinander folgenden Tagen, ein elektromotorischer Unterschied der Zeigefinger in beständiger Richtung gezeigt hat.

Alle diese Erscheinungen bleiben im Wesentlichen dieselben, gleichviel von welcher Art die Zuleitungsflüssigkeit sei, in die man die Finger eintaucht. Ob dabei der Eigenstrom stets seine Richtung unverändert behalte, bin ich noch nicht im Stande mit Sicherheit anzugeben. Doch glaube ich, dafs dem wirklich so ist. Mit welchen Flüssigkeiten ich in dieser Beziehung Versuche angestellt habe, wird, nebst den Einzelheiten dieser Versuche, aus der Folge erhellen. Ueber das Verhalten anderer symmetrischer Körperstellen unter den hier in Rede stehenden Umständen wird gleichfalls die Folge einigen Aufschluſs geben.

Endlich auch die Verhandlung über die Ursachen der hier beschriebenen Erscheinungen müssen wir auf eine spätere Stelle versparen. Vorläufig genüge die Bemerkung, dafs offenbar zwei verschiedene Arten von Wirkungen dabei im Spiele sind. Erstens der beständige Eigenstrom selber, dann aber zu Anfang eine flüchtige Wirkung von unregelmäfsiger Richtung. Letztere tritt übrigens nicht in jedem Versuch wieder von Neuem auf, wenn man oft nacheinander die Finger eintaucht, sie in der Zuleitungsflüssigkeit verweilen läfst, mit Wasser wäscht, abtrocknet und von Neuem eintaucht. Alsdann gehört der Ausschlag im ersten Augenblick nur noch dem Eigenstrom an, oder wenigstens die anfangs vorhandene flüchtige Wirkung vermag sich jetzt nicht mehr geltend zu machen neben der beständigen, durch die Durchfeuchtung der Oberhaut noch gesteigerten des Eigenstromes.

Digitized by Google

Auf alle Fälle, sieht man, ergiebt sich aus dem Vorigen für die nun anzustellenden Versuche die Regel, auf der Hut zu sein sowohl gegen die Wirkungen der ersten Benetzung, als auch der dauernden Ungleichartigkeit von Körperstellen, welche, von vorn herein, gleichartig sein zu müssen scheinen. Gleichviel wo der Sitz der Ungleichartigkeit sei, welche dem Eigenstrom zu Grunde liegt, ob in der Haut der Finger, oder in den Muskeln der Gliedmafsen, es sind offenbar die Finger in dieser Beziehung ganz zwei Platten aus einem Metall zu vergleichen, die man als Zuleitungsplatten eines Multiplicators benutzen will. Auch diese scheinen gleichartig sein zu müssen, aber sind es deshalb noch keinesweges. Auch hier giebt die erste Benetzung Anlafs zu unregelmäfsigen, bald vorübergehenden Wirkungen. Auch hier ist es nur selten der Fall, dafs auf diese Wirkungen nicht ein nachhaltiger Strom, oft in der umgekehrten Richtung von der des ersten Ausschlages folgt. Auch hier endlich kehren, beim erneuten Eintauchen, die ersten Wirkungen nicht in gleicher Weise wieder, sondern der Ausschlag erfolgt jetzt sogleich im Sinn der dauernden Ungleichartigkeit.

Eine solche Uebereinstimmung zwischen dem elektromotorischen Verhalten der Haut und der Metalle bei Berührung mit Flüssigkeiten wird sich uns in der Folge noch öfter darbieten. Leider erstreckt sie sich an dieser Stelle nicht, wie wohl zu wünschen wäre, auch auf die Fähigkeit der Metalle, wenigstens der negativen, bei geeigneter Behandlung sich schliefslich miteinander abzugleichen. Geschlossenhalten der Hautstellen, deren Gleichartigkeit man braucht, zum Kreise leistet hier nicht dasselbe wie bei den Metallen, weil die Haut, wovon noch die Rede sein wird, nicht in der Weise, wie die Metalle, polarisirbar ist und weil man, selbst wenn sie es wäre, doch die Hautstellen nicht so lange wie die Metalle zum Kreise geschlossen halten kann. Ja nicht selten ist, wie schon oben S. 204 bemerkt wurde, das Auftauchen neuer Ungleichartigkeiten, statt des Verschwindens der alten, die Folge längerer Benetzung der Hautstellen. Um so mehr müssen wir uns, bei der Erforschung des elektromotorischen Verhaltens der Haut unter verschiedenen Umständen, Vorsicht anempfohlen sein lassen.

(m) Von dem elektromotorischen Verhalten ungleich erwärmter, sonst gleichartiger Hautstellen gegeneinander.

Wir sind nun im Stande, mit Sicherheit zu ermitteln, ob ungleiche Temperatur zweier sonst gleichartigen Hautstellen einen elektromotorischen Unterschied derselben bedinge. Natürlich werden wir unsere Versuche an den Zeigefingern anstellen, die am bequemsten gelegen sind, und deren elektromotorisches Verhalten uns schon genau bekannt ist.

Digitized by Google

Ich ging folgendermafsen zu Werke. Durch Erwärmen und Erkälten der Kochsalzlösung in einem der beiden Zuleitungsgefäfse würde die Gleichartigkeit der Vorrichtung gefährdet worden sein. Erstlich beschlägt beim Erwärmen leicht das Platin an seiner Berührungsstelle mit der Messingklemme mit Wasserdampf, wodurch ein heftiger Strom entsteht (Vergl. oben Bd. I. S. 218). Für's zweite beruht die Gleichartigkeit der Platinplatten immer wesentlich auf ihrem Ladungszustande, dieser aber ist abhängig von der Temperatur (S. oben S. 193). Endlich drittens und vor Allem verhalten sich gleichartige Metalle in ungleich warmer Flüssigkeit an und für sich nicht mehr gleichartig. Ich glaube mich insbesondere überzeugt zu haben, dafs Platin in kalter gesättigter Kochsalzlösung sich gegen Platin in warmer Lösung positiv verhält.[1] Es wurden deshalb vor den Zuleitungsgefäfsen noch zwei andere Gefäfse angebracht, mit jenen durch Salzbäusche verbunden, und erst in diese Hülfsgefäfse, wie ich sie nennen will, entweder die ungleich warme Lösung gegossen oder, wenn sie mit gleich warmer Lösung gefüllt waren, die ungleich warmen Zeigefinger getaucht.

Ich fing damit an, in ein drittes Paar von Gefäfsen, die ich Hülfsgefäfse zweiter Ordnung nennen will, ungleich warme Kochsalzlösung zu giefsen. In diese Gefäfse, die aber weder unter sich, noch mit den Hülfsgefäfsen erster Ordnung in leitender Verbindung standen, tauchte ich die beiden Zeigefinger, hielt sie darin so lange bis sie die Temperatur des Mittels angenommen hatten, und übertrug sie endlich gleichzeitig in die Hülfsgefäfse erster Ordnung, nachdem das Schliefsungsrohr zwischen den eigentlichen Zuleitungsgefäfsen entfernt worden war. Vorher hatte ich mich natürlich von dem Stande des Eigenstromes der Finger unterrichtet (S. oben S. 204). Um stets für beide Finger, den Unterschied der Temperaturen ausgenommen, alle Bedingungen des Versuches möglichst gleich zu machen, wurden die Hülfsgefäfse erster und zweiter Ordnung übrigens selbst dann auf beiden Seiten beibehalten, wenn auf der einen Seite die Lösung in den Hülfsgefäfsen dieselbe Temperatur haben sollte, als die in den eigentlichen Zuleitungsgefäfsen, nämlich 15° C., entsprechend der zeitigen Lufttemperatur. Aufser dieser Temperatur wendete ich noch drei andere an, nämlich die von 0°, die von +30°, und die von +45°.

Ich gestehe, dafs ich nicht im Stande war, eine viel höhere Temperatur als 45° C. mit dem Zeigefinger dauernd zu ertragen. E. H. We-

[1] Vergl. über dergleichen Ketten aus Einem Metall und Einer ungleich erwärmten Flüssigkeit Faraday in seinen Experimental Researches in Electricity. Reprinted from the Philosophical Transactions. vol. II. London 1844. p. 59—69. Series XVII. No. 1913—1955; — Poggendorff's Annalen u. s. w. 1841. Bd. LIII. S. 316.

Digitized by Google

BER[1] giebt viel höhere Temperaturen als solche an, die man dauernd ertragen kann. Indessen ist zu bemerken, dafs dabei nur das letzte Fingerglied eingetaucht wurde. Ich tauchte dagegen die beiden letzten Glieder vollständig ein. E. H. WEBER sagt aber selber, dafs, je gröfser die Oberfläche der Haut sei, die der warmen oder kalten Temperatur ausgesetzt werde, um so niedriger oder um so höher beziehlich liege der Punkt, wo man anfange Schmerz zu empfinden.

Folgendes war das Ergebnifs meiner Versuche. Ein Finger bei 0°, worunter ich einen solchen verstehe, der einige Zeit in Lösung von 0° verweilt hat, verhält sich so stark positiv (S. oben S. 204 Anm.) gegen einen Finger bei 15°, 30°, 45°, dafs die Nadel an die Hemmung geführt wird. Die Wirkung ist aber bei 15° oder 30° äufserer Temperatur des zweiten Fingers weit heftiger als bei 45°. Ein Finger bei 15° verhält sich gegen einen Finger bei 30° schwach positiv. Gegen einen Finger bei 45° dagegen verhält sich ein Finger bei 15° oder bei 30° sehr stark negativ. Am negativsten ist also der Finger bei etwa 30°. Bei jeder höheren sowohl als jeder tieferen Temperatur ist er positiver. Seine Positivität wächst nach beiden Richtungen hin anfangs langsam, in der Nähe des Nullpunktes und zwischen 40° und 50° aber aufserordentlich schnell.

Diese Ergebnisse sind einer graphischen Versinnlichung fähig. In Fig. 146. Taf. V stellen die Abscissen die wachsenden Temperaturen des einen Fingers dar, während der andere Finger auf 0° verharrt. Die Ordinaten stellen, ihrem allgemeinen Gesetz nach, die relativen Gröfsen der Positivität des auf 0° gehaltenen Fingers gegen den anderen bei den entsprechenden Temperaturen vor. Indem man sich aber die Abscissenaxe folgweise um die Stücke Oa, Ob, Oc in der Richtung der positiven Ordinaten verlegt denkt, findet man zugleich die relativen Gröfsen der Positivität oder Negativität des Fingers von veränderlicher Temperatur gegen den anderen, wenn man diesem, statt wie früher die beständige Temperatur von 0°, beziehlich die von 15°, 30°, 45° zuschreibt.

Diese Ströme dauern nur so lange, als ein Wärmeunterschied vorhanden ist. Umgekehrt lassen sie sich so beständig machen, wie die Polarisation der metallischen Multiplicatorenden und die Abgleichung der Temperaturen es gestatten, wenn man den Versuch dahin abändert, dafs man, unter Beseitigung der Hülfsgefäfse zweiter Ordnung, die Hülfsgefäfse erster Ordnung selber mit der ungleich warmen Lösung füllt. Beim Eintauchen der gleich warmen Finger erhält man Ausschläge, wie sie nach dem Vorigen verlangt werden. Hält man dann die Finger dauernd

[1] RUD. WAGNER's Handwörterbuch der Physiologie u. s. w. Bd. III. Abth. II. Braunschweig 1846. Artikel »Tastsinn und Gemeingefühl«. S. 571—574.«

Digitized by Google

eingetaucht, so hat man in dem Multiplicatorkreise einen Strom, der so lange anhält, als der Temperaturunterschied selber. Ich mufs indefs sagen, dafs mir zwar dieser Versuch bei Anwendung der Temperaturen von 15° und 30° in dem einen und von 45° in dem anderen Hülfsgefäfs stets gut gelungen ist, dagegen bei der Temperatur von 0° in dem zweiten Gefäfs nur unsichere Erfolge geliefert hat. Dem Grund davon bin ich nicht weiter nachgegangen. Ich vermuthe aber, dafs er einfach darin liegt, dafs, nach dem Newton'schen Gesetze, die Lösung von 0° durch den Finger schneller erwärmt wurde, als die von 45° erkältet, während die Positivität des Fingers bei 0° und bei 45° sich ungefähr gleich schnell mit der Temperatur ändern mag.

Die Ströme durch ungleiche Temperatur lassen sich auch beobachten, indem man die Hülfsgefäfse zweiter Ordnung, statt mit Kochsalzlösung, mit Quecksilber oder Sand füllt. Mit dem Sande, dem ich übrigens wegen seiner geringen Wärmeleitung und Beweglichkeit eine beträchtlich höhere Temperatur ertheilen konnte, als dem Quecksilber und der Salzlösung, wendete ich keine andere Temperaturen an als 15° in dem einen, 40—60° in dem anderen Gefäfse. Mit dem Quecksilber dagegen führte ich dieselbe Versuchsreihe durch wie mit der Lösung. Das Ergebnifs war, was die Richtung der Ströme betrifft, das nämliche, wie mit der Lösung. Die Ströme hatten aber nicht ganz dieselbe Stärke und die Erscheinungen liefsen es manchmal an Sicherheit und Regelmäfsigkeit fehlen.

Beim Quecksilber schrieb ich das letztere zuerst dem Umstande zu, dafs ich ein mit Kupfer sehr verunreinigtes Quecksilber anwendete, dessen ich mich in den Gefäfsen des Stromwenders, zum Verquicken der Schliefsungshaken u. d. m. zu bedienen pflege, und welches sich in Häuten an die Finger hing. Aber bei näherer Prüfung zeigte es sich, dafs diese Häute keine Störungen verursachten, und als ich die Versuche mit ganz reinem Quecksilber wiederholte, stiefs ich mehrmals auf dieselben Unsicherheiten der Erscheinungsweise. Die gröfsere Schwäche der Wirkungen im Vergleich zu den mit der ungleich warmen Lösung beobachteten erklärt sich übrigens wohl mit Leichtigkeit daraus, dafs in der Lösung die Oberhaut durchfeuchtet wird, während sie im Quecksilber trocken bleibt, im heifsen Sande wohl gar noch ausgetrocknet wird; und dafs die Schicht heifser oder kalter Lösung, die die Finger aus den Hülfsgefäfsen zweiter Ordnung mitnehmen, der Oberfläche der Finger länger die Temperatur erhält, die sie besitzen soll.

Aus Gründen, die in der Folge einleuchten werden, habe ich es nöthig gefunden, diese Versuche noch mit anderen Zuleitungsflüssigkei-

Digitized by Google

ten als mit Kochsalzlösung zu wiederholen, mit verdünnter Schwefelsäure nämlich und mit Brunnenwasser.

Die verdünnte Säure, die in der Folge noch mehrmals vorkommen wird, hatte bei 15°.5 C. 1.061 Dichte. Sie enthielt also etwa neun Gewichtsprocente Schwefelsäure mit einem Atom Wasser. Man kann sie nicht wohl stärker nehmen, da sie bereits so an zarten Hautstellen, z. B. der Volarfläche des Unterarmes, bei längerer Benetzung Schmerz und Röthe hervorbringt. Die Zuleitungsplatten waren Platinbleche von 14^{mm} Breite, und 44^{mm} hoch mit Fliefspapier bekleidet. Es gelang sie hinreichend gleichartig zu erhalten. Die Erwärmung und Erkältung der Finger fand statt in Hülfsgefäfsen zweiter Ordnung, die mit der verschieden warmen Säure angefüllt waren. Die Verbindung der Gefäfse geschah in hergebrachter Weise durch Bäusche nach Art des Sattelbausches, die mit der verdünnten Säure getränkt waren. Ein ähnlicher Bausch versah die Dienste des Schliefsungsrohres. Die Erscheinungen waren völlig die nämlichen, wie mit der gesättigten Kochsalzlösung. Der Finger bei 0° verhielt sich auch in der Säure positiv gegen den bei 15°, 30°, 45°; der bei 45° positiv gegen den bei 15° und 30°. Das Verhalten der Finger gegen einander bei 15° und 30° konnte, wegen allzugrofser Stärke des Eigenstromes, nicht mit Sicherheit ermittelt werden.

Bei der Versuchsreihe mit Brunnenwasser war die Vorrichtung ganz die nämliche wie bei der mit Kochsalzlösung, nur dafs die eigentlichen Zuleitungsgefäfse und die Hülfsgefäfse erster und zweiter Ordnung statt Kochsalzlösung Brunnenwasser enthielten. Die Erkältung des Fingers auf 0° geschah in einem Brei von Brunnenwasser und zerstofsenem Eise. Die Erscheinungen waren dieselben wie mit der Kochsalzlösung. Nur fielen sämmtliche Wirkungen schwächer aus, wohl nur wegen der geringeren Leitungsfähigkeit, die das Brunnenwasser, bei gleicher Durchfeuchtung, der Oberhaut ertheilt. Der Strom bei 15° und 30° äufserer Temperatur der Finger konnte auch hier nicht ordentlich unterschieden werden.

Von dem elektromotorischen Verhalten anderer Körpertheile als der Finger bei ungleicher Erwärmung wird noch später die Rede sein.

Es giebt also, wie man sieht, wirklich Ströme durch ungleiche Temperatur der Haut; und wir können von Glück sagen, dafs wir uns nicht bei der Betrachtung beruhigt haben, wie höchst unwahrscheinlich es sei, dafs es solche Ströme gebe. Die elektromotorische Kraft dieser Ströme bei den geringen Temperaturunterschieden, die hier allein anwendbar sind, ist sogar keineswegs unbeträchtlich. Gleich der der Nobili'schen Thon-Thermokette übertrifft sie bei weitem die der Kupfereisenkette bei mittlerer Temperatur ihrer einen und Erglühen ihrer anderen Löthstelle (S. oben S. 202).

Digitized by Google

Höchst auffallend aber ist das Gesetz, wonach sich diese elektromotorische Kraft mit der Temperatur ändert. Nach der Analogie der metallischen Thermoketten zu urtheilen, hätte man erwarten sollen, dafs innerhalb so enger Grenzen der Temperatur die Richtung des Stromes die nämliche bleiben, und die elektromotorische Kraft dem Temperaturunterschied ungefähr proportional sein werde. Statt dessen sehen wir die Richtung des Stromes sich umkehren, und die Curve der elektromotorischen Kräfte von etwa 30° ab nach dem Nullpunkt hin sowohl als nach den höheren Temperaturen aufserordentlich an Steilheit zu nehmen.

Noch auffallender aber wird dieser Umstand dadurch, dafs er nur an dem Lebenden stattzufinden scheint. Ich habe nämlich versucht, dieselben Erscheinungen an den Fingern einer Leiche zu beobachten. Da meine Vorrichtungen keine Ortsveränderung zulassen, sah ich mich genöthigt, Finger einer und derselben Hand anzuwenden. Die Hand gehörte der Leiche eines vor dreimal vierundzwanzig Stunden verstorbenen Mannes an. Sie war im Handgelenk exarticulirt, sonst aber völlig unversehrt. Ihre Oberhaut war verhältnifsmäfsig zart. Mit Hülfe von Bändern und von passend angebrachten Keilen aus Kork gab ich der Hand die Stellung wie zum Schwur, nur dafs Zeigefinger und Mittelfinger von einander entfernt gehalten wurden. Diese benutzte ich zum Eintauchen in die Zuleitungsgefäfse, an Stelle meiner beiden Zeigefinger. Es zeigte sich, dafs ein Eigenstrom vorhanden war, wie zwischen den Fingern eines Lebenden. Die ungleiche Erwärmung der Finger geschah in Kochsalzlösung. Zwischen je zwei Versuchen wurden die Finger mit Wasser gewaschen und mit Linnen getrocknet, gerade wie am Lebenden.

Das Ergebnifs war, dafs ein Finger bei 0° sich gegen einen Finger bei 15°, 30°, 45° wie am Lebenden, nur sehr viel schwächer, positiv verhielt. Aber damit hatte die Uebereinstimmung ein Ende. Ein Finger bei 15° verhielt sich nämlich nicht negativ gegen einen solchen bei 45°, sondern auch noch positiv. Ich glaubte nun, dafs, wegen der niedrigen im Inneren der Leichenhand herrschenden Temperatur, vielleicht höhere Temperaturen angewendet werden müfsten, um die Umkehr der elektromotorischen Kraft zu erzielen. Allein auch als ich den beiden Fingern die Temperaturen von 45° und 60°, dann von 60° und 75° ertheilte, verhielt sich noch stets der kältere Finger positiv gegen den wärmeren. Was bei Anwendung einer noch höheren Temperatur, nämlich der des Siedens, auf der einen Seite, stattfand, verschweige ich besser, weil ich meiner Sache nicht recht gewifs bin. Auch über die Stärke der Ströme will ich nichts weiter sagen, als dafs sie durchgängig weit unter der am Lebenden blieb, indem ich über das Gesetz,

Digitized by Google

wonach sich bei beständigem Temperaturunterschiede diese Stärke mit der Temperatur ändert, noch nichts Sicheres beobachtet habe.

Immer noch in der Meinung, dafs die abweichenden Erscheinungen an der Leichenhand einfach von ihrer geringeren inneren Wärme herrühren möchten, stellte ich an einer zweiten Hand, die übrigens einer noch weniger frischen Leiche angehörte, folgenden Versuch an. Nachdem ich mich überzeugt hatte, dafs auch an dieser Hand der Finger bei 15° und bei 30° sich positiv gegen einen solchen bei 45° verhielt, liefs ich die Hand 75′ lang in warmem Wasser verweilen. Die Temperatur des Wassers betrug ursprünglich 44°, nach der angegebenen Zeit 36°. Die Hand mufste also im Inneren ziemlich die Temperatur haben, wie am Lebenden. Abermals prüfte ich jetzt das elektromotorische Verhalten zweier Finger gegen einander bei 15° und 45°. Allein ich stehe nicht an zu behaupten, dafs es noch dasselbe war als an der kalten Hand, obschon, was freilich auffallend ist, der Strom schwächer erschien und auch noch sonst einige Unregelmäfsigkeiten bemerkt wurden.

Ich habe diese Versuche nicht weiter verfolgt, theils, weil sie mich zu sehr vom Ziel ablenkten, theils, weil mir zur Zeit nicht mehr passende Leichenhände zu Gebote standen. Ich lasse demnach den Gegenstand in theoretischer Hinsicht ganz, was die Thatsachen betrifft, wenigstens noch zum Theil, in Dunkel gehüllt zurück. Nur die Erscheinungen am Lebenden sind, nach den oben S. 188 für diese Untersuchung aufgestellten Grundsätzen, genau genug erkannt, um uns später, wenn wir ihrer bedürfen sollten, eine sichere Grundlage darzubieten.

Ausdrücklich bemerke ich noch, dafs, wenn ich hier von Thermoströmen am menschlichen Körper geredet habe und dies auch noch ferner thue, ich damit mehr eine kurze Ausdrucksweise bezwecke, als dafs ich dadurch die Erscheinung mit den Thermoströmen der Metalle bereits für einerlei auszugeben gedächte. Ob die Ströme, von denen hier die Rede ist, eine Rolle gespielt haben in den verwickelten Versuchen Eduard Weber's, deren oben Bd. I. S. 488 Anm. Erwähnung gethan ist, bin ich aufser Stande zu sagen. Möglicherweise aber haben diese Ströme einen, wenn auch kleinen und unregelmäfsigen Antheil an der ersten flüchtigen Wirkung, welche das erste Eintauchen zweier Finger in die Zuleitungsgefäfse zu begleiten pflegt (S. oben S. 205).

(iv) Von der Verminderung des Leitungswiderstandes der Oberhaut durch Temperaturerhöhung.

Es hat sich mir, bei den vorigen Versuchen, noch ein Umstand zu erkennen gegeben, der, für die Versuche am unversehrten mensch-

Digitized by Google

lichen Körper, in praktischer Beziehung von Wichtigkeit ist. Ich habe seiner bisher nicht gedacht, um nicht die Darstellung allzusehr zu verwickeln. Er verdient es aber auch in theoretischer Beziehung wohl, jetzt auf einige Augenblicke unsere Aufmerksamkeit auf sich zu lenken.

Ich habe oben S. 204 auseinandergesetzt, dafs man meistens zwischen zwei bestimmten Fingern einen beständigen, auf keine Art zu tilgenden elektromotorischen Unterschied wahrnimmt, der sogar, für bestimmte Finger eines und desselben Menschen, monatelang derselbe bleibt. Den Strom, den dieser Unterschied bedingt, habe ich den Eigenstrom der Finger benannt, und habe gesagt, dafs er sich algebraïsch summire zu den Strömen, die aus anderen Ursachen vorübergehend zwischen den Fingern auftreten.

Für die Ströme durch Unterschiede der Temperatur indessen bedarf dieser Ausspruch einer Einschränkung. Gleichviel nämlich, wie die Erwärmung des einen Fingers geschah, ob auf feuchtem Wege, in Kochsalzlösung u. d. m., oder auf trocknem Wege, in Sand oder Quecksilber, die Wirkung beim gleichzeitigen Eintauchen eines Fingers von mittlerer und eines Fingers von erhöhter Temperatur erscheint nicht, wie man vermuthen sollte, zusammengesetzt aus der Wirkung wegen ungleicher Temperatur und der beständigen Wirkung in ihrer gewöhnlichen Gröfse, sondern aus der ersteren Wirkung und der letzteren in sehr vergröfsertem Mafsstabe. Z. B. beim gleichzeitigen Eintauchen der gleich warmen Finger entstehe ein Ausschlag von 20° nach links, der den linken Finger als positiv anzeigt. Der linke Finger wird erwärmt und das Eintauchen wiederholt. Es erfolgt Anschlagen an die Hemmung in demselben Sinne als vorher. Man sollte nun erwarten, dafs wenn der Versuch mit dem rechten Finger wiederholt wird, wenn auch nicht Anschlagen an die rechte Hemmung, doch wenigstens ein starker Ausschlag nach rechts erfolgen müfste. Dies trifft nicht zu. Sondern der Ausschlag ist sehr klein, und auf dem Fufs gefolgt von einem viel stärkeren Ausschlage nach links; oder die Nadel bleibt anfangs in Ruhe, geht dann zögernd nach links bis auf 10°, schwingt zurück um wenige Grade und geht weiter nach links bis auf 40° u. s. f.

Diese Erscheinungen erklären sich offenbar nur unter der Voraussetzung, dafs der Nullpunkt für die Wirkung des Temperaturunterschiedes, oder die Gleichgewichtslage der Nadel zwischen der Erdkraft und der ablenkenden Kraft des Eigenstromes, durch die Erwärmung des einen Fingers weiter vom Nullpunkt der Theilung verlegt worden ist. Mit anderen Worten, es mufs durch die Erwärmung des Fingers der Eigenstrom an Stärke zugenommen haben. Bei der Erkältung des einen Fingers findet nichts ähnliches statt. Vielmehr scheint der Eigenstrom

Digitized by Google

dabei an Stärke abzunehmen. Die Zunahme des Eigenstromes durch die Temperaturerhöhung steht übrigens zu dieser in einem anderen Verhältnifs als die durch den Temperaturunterschied bedingte elektromotorische Kraft. Denn jene ist bereits, oder noch sehr merklich, wenn diese beziehlich noch kaum in die Augen fällt, oder beinahe schon unwahrnehmbar geworden ist. Die gröfsere Stärke des Eigenstromes bei erhöhter Temperatur der Zuleitungsflüssigkeit tritt noch deutlicher hervor, wenn man, statt nur einen Finger, beide Finger erwärmt und sie gleichzeitig in die Hülfsgefäfse erster Ordnung überträgt. Nicht nur dafs alsdann die Verwickelung fortfällt, die bei der vorigen Versuchsweise aus dem Thermostrom entsprang, sondern die Verstärkung des Eigenstromes erscheint auch an sich noch bedeutender.

Aus der Gesammtheit dieser Umstände läfst sich bereits entnehmen, dafs die Verstärkung des Eigenstromes durch die Temperaturerhöhung nicht beruht auf einer Vergröfserung der ihm zu Grunde liegenden elektromotorischen Kraft, sondern auf einer Verminderung des Widerstandes des Kreises. Zur Gewifsheit brachte ich dies durch folgende Versuche.

In den Kreis einer Grove'schen Kette der gröfseren Art (S. oben Bd. I. S. 446) wurden die Zuleitungsgefäfse mit den Hülfsgefäfsen erster Ordnung und die halbe Länge des Multiplicators für den Muskelstrom eingeschaltet. Die Empfindlichkeit des Multiplicators war durch einen Melloni'schen Berichtigungsstab (S. oben Bd. I. S. 189) hinreichend vermindert. Die Grove'sche Kette wurde aufser durch die erwähnte Leitung noch durch einen langen und dünnen Kupferdraht (die inducirte Rolle meines Magnetelektromotors) beständig geschlossen gehalten.

Heifsen die Enden der Kette, abgesehen von ihrem beständigen Schliefsungsdrahte, k_1, k_2, die des Multiplicators m_1, m_2, die der Zuleitungsgefäfse z_1, z_2; so standen k_1 mit m_1, m_2 und z_1 mit dem Gefäfs A des Pohl'schen Stromwenders (S. oben Bd. I. S. 426. Bd. II. Taf. III. Fig. 108), z_2 mit dem Gefäfs a, k_2 mit dem α in Verbindung. Bei der Lage II der Wippe (S. oben Bd. I. ebendas. Bd. II. Taf. III. Fig. 109) bildeten also der Multiplicator und die Zuleitungsgefäfse mit ihren Hülfsgefäfsen und dem zwischen ihnen befindlichen menschlichen Körper eine Nebenschliefsung zum beständigen Schliefsungsdrahte der Kette. Der Widerstand dieser Nebenschliefsung war verhältnifsmäfsig sehr grofs. Durch Schliefsen und Oeffnen derselben konnte also der Zustand der Kette nicht merklich geändert werden. So war eine Bürgschaft mehr gegeben für die Beständigkeit ihres Stromes. Aufserdem wurden die Platinplatten der Zuleitungsgefäfse nicht mit so starken Ladungen behaftet, als dies der Fall gewesen wäre, hätte ich die zur Schwächung des Stromes nöthige Nebenschliefsung am Multiplicator,

Digitized by Google

statt an der Kette, angebracht. Um aber die Platinplatten zu entladen, und der zuleitenden Vorrichtung nach jedem Versuch die Gleichartigkeit wieder zu ertheilen, war nichts weiter nöthig, als die Wippe aus der Lage II in die Lage I umzulegen. Alsdann nämlich öffnete sich die bis dahin vorhandene Nebenschliefsung zum Schliefsungsdrahte der Kette, dagegen wurden die Zuleitungsgefäfse für sich zum Kreise geschlossen.

Die Hülfsgefäfse wurden mit gesättigter Kochsalzlösung von gegebener Temperatur gefüllt. Damit diese Temperatur beständiger sei, wurden auch die in die Hülfsgefäfse tauchenden Hälften der Verbindungsbäusche mit Lösung von gleicher Temperatur getränkt. In die Hülfsgefäfse wurden, bei der Lage I der Wippe, die beiden letzten Glieder des Zeigefingers jeder Hand getaucht, und so lange darin gehalten, bis man annehmen konnte, ihre Oberhaut sei vollkommen durchfeuchtet und habe die Temperatur des Mittels angenommen. Dann endlich wurde die Wippe umgelegt, der Ausschlag abgelesen, die Wippe in die Lage I zurückgebracht, und die Vorrichtung durch das Schliefsungsrohr entladen.

Zuerst wurde natürlich der Versuch mit Lösung von mittlerer Temperatur, oder der zeitigen Luftwärme, angestellt, um die Empfindlichkeit des Multiplicators der Stromstärke anzupassen. In dieser Gestalt wurde aber der Versuch noch mehrmals, mitten in der Versuchsreihe und zu Ende derselben, wiederholt, um mich der Beständigkeit der Kette zu vergewissern. Zuletzt wurde die ganze Versuchsreihe nochmals mit der verdünnten Schwefelsäure von 1.061 Dichte (S. oben S. 210) wiederholt, um sicher zu sein, dafs die Verminderung des Widerstandes der Haut nicht blos in der Kochsalzlösung stattfinde. Als Zuleitungsplatten dienten dabei die oben ebendas. beschriebenen Platinbleche.

Die folgende Tabelle enthält die Zahlen der Versuche.

Grade C.	Gesättigte Kochsalzlösung.	Verdünnte Schwefelsäure.
0°	32° Ausschlag.	25°; 23.5 Ausschlag.
15	38; 38; 44.	35; 37; 36.
45	74; 74.	68; 65.

Man sieht, dafs in beiden Flüssigkeiten eine sehr beträchtliche Zunahme der Stromstärke die Erwärmung begleitet. Sie kann unter diesen Umständen von nichts herrühren als von einer Verminderung des Widerstandes des Kreises. Denn der Quell der elektromotorischen Kraft ist dem Einfluss der Temperaturerhöhung dabei völlig entzogen.

Digitized by Google

Man könnte nun noch fragen, ob diese Verminderung des Widerstandes blos auf der Erwärmung der Zuleitungsflüssigkeit beruhe, oder ob es die Oberhaut sei, welche hier an Leitungsgüte gewinne. Es kann wohl von vorn herein kein Zweifel daran sein, dafs das letztere der Fall ist, wenn man die Gröfse der Wirkung bedenkt, und aufserdem sich erinnert, dafs wir auf die Spur dieser Widerstandsverminderung gekommen sind durch die auffallende Stromverstärkung in Versuchen, wo ein erwärmter Finger in Zuleitungsflüssigkeit von mittlerer Temperatur getaucht wurde. Der Beweis ist übrigens leicht geführt.

Wird nämlich der Versuch bei mittlerer Temperatur wiederholt, indem man die Hülfsgefäfse fortläfst und die Finger unmittelbar in die Zuleitungsgefäfse taucht, so hat der Ausschlag genau die nämliche Gröfse als wenn die Finger in die Hülfsgefäfse getaucht werden. Es verschwindet also, gemäfs der Angabe von Lenz (S. oben S. 196), der Widerstand der Zuleitungsflüssigkeiten überhaupt gegen den des Körpers, und es kann somit eine Verminderung jenes Widerstandes durch Temperaturerhöhung keine Vergröfserung der Stromstärke bewirken.

Es ist also die Oberhaut selber, welche bei der Erwärmung an Leitungswiderstand abnimmt. Diese Versuche stehen zu denen von Eduard Weber, wodurch er die Verminderung des Widerstandes der Haut durch die Wärme erwiesen zu haben glaubte (S. oben S. 195), in demselben Verhältnifs wie die Versuche von Ohm, Henrici u. A. über den Einflufs der Wärme auf den Widerstand der feuchten Leiter zu den früheren Bestrebungen, dies Verhalten zu ermitteln, welche nicht zum Ziele führen konnten, weil dabei die Veränderung der Polarisation unberücksichtigt blieb (S. oben S. 193 Anm. 1).

Uebrigens scheint die Erklärung des Umstandes, dafs der Widerstand des Körpers durch Erwärmung der Haut stark vermindert wird, keiner grofsen Schwierigkeit zu unterliegen. Ein erster Grund, der sich dafür anführen lassen würde, ist der, dafs die Haut durch die wärmere Flüssigkeit wohl besser durchfeuchtet werden mag, als durch die kältere. Dieser Punkt kann jedoch von keinem grofsen Belang sein, da, wie bemerkt, die Verminderung des Widerstandes auch dann fühlbar wird, wenn die Erwärmung auf trocknem Wege geschah. Allein für's zweite und hauptsächlich ist wohl Folgendes zu erwägen. Die Haut ist der vornehmste Sitz des Widerstandes, den der Körper dem Strom entgegensetzt (S. oben S. 191. 194 ff.). Die Haut leitet aber, wie andere thierische Theile, nur vermöge der in ihr enthaltenen Flüssigkeit (S. oben S. 189). Der Widerstand dieser Flüssigkeit nimmt durch Erwärmung ab. Der Vorgang ist also ungefähr der nämliche, der er sein würde in einem sonst gut leitenden Kreise, in den ein

Digitized by Google

langes mit Wasser gefülltes Haarröhrchen eingeschaltet wäre und einer Temperaturveränderung unterworfen würde. Es ist nicht zu bezweifeln, dafs auch in einem solchen Kreise, durch Erwärmen des Haarröhrchens, eine bedeutende Vergröfserung der Stromstärke herbeigeführt werden würde.

So nahe diese letztere Erklärung liegt, so schwer ist es doch, ihr eine thatsächliche Grundlage zu verleihen. Freilich wenn man erst die obigen Versuche so eingerichtet hätte, dafs man ein wirkliches Mafs der Stromstärke dabei erhielte, und wenn man zwei Flüssigkeiten von sehr verschiedenem Widerstande besäfse, deren Widerstände aber bei verschiedenen Temperaturen stets in demselben Verhältnifs zu einander ständen, oder zwar ungleich schnell mit der Erwärmung sänken, doch so, dafs das schnellere Sinken der Flüssigkeit von kleinerem Widerstande zukäme: in diesem Falle hätte es keine Schwierigkeit, die Richtigkeit jener Ansicht zu erweisen. Es müfste sich nämlich alsdann zeigen, dafs der Widerstand des Körpers in der besser leitenden Flüssigkeit durch Erwärmung der Haut weniger abnimmt, als in der schlechter leitenden. Denn der Widerstand der mit der ersteren Flüssigkeit durchtränkten Haut macht einen kleineren Bruchtheil des Gesammtwiderstandes aus, als der Widerstand der mit der letzteren Flüssigkeit durchtränkten Haut. Folglich mufs auch der Gesammtwiderstand in dem letzteren Falle mehr als in dem ersteren vermindert werden durch eine Verminderung des Widerstandes der Haut.

Allein die Erfüllung der obigen Bedingungen ist vor der Hand zum Theil sehr schwer, zum Theil noch unmöglich. Es ist sehr schwer, Versuche nach Art der obigen in genau messende zu verwandeln, und es ist noch gänzlich unbekannt, welchem Gesetz die Veränderung des Widerstandes der Flüssigkeiten mit der Temperatur folgt, vollends, ob dies Gesetz bei zwei Flüssigkeiten von verschiedenem Widerstande das nämliche oder ein solches sei, wie es, nach dem Obigen, hier erfordert werden würde.

Was die Zahlen der obigen Tabelle betrifft, so will ich jetzt noch bemerken, dafs die Zahlen in beiden Spalten auf keine Art mit einander zu vergleichen sind, und daher nicht daran zu denken ist, einen Schlufs daraus zu ziehen in Bezug auf das Gesetz, wonach sich der Widerstand des Körpers bei Anwendung jener beiden Flüssigkeiten ändert. Der Polarisation nicht zu gedenken, die nicht nur wegen der Natur der Flüssigkeit, sondern auch wegen der verschiedenen Ausdehnung der Elektroden in beiden Fällen sehr verschieden auf das Ergebnifs einwirken mufste, ist auch nicht einmal der Compensationszustand des Nadelpaares in beiden Versuchsreihen der nämliche gewesen.

Digitized by Google

4. Von der durch ungleichzeitiges Benetzen bedingten elektromotorischen Ungleichartigkeit der Haut des Menschen.

(1) Von den Ungleichzeitigkeitsströmen an verschiedenen Theilen des menschlichen Körpers und in verschiedenen Flüssigkeiten.

Wir kennen jetzt das elektromotorische Verhalten zweier unverletzten Finger, die man gleichzeitig in eine mannigfach beschaffene Zuleitungsflüssigkeit taucht und dauernd darin hält, sowohl bei gleicher, als bei ungleicher Temperatur der Finger. Wir schreiten nun dazu, Kenntnifs zu nehmen von der Erscheinung, um derenwillen bisher stets verlangt worden ist, dafs die Finger gleichzeitig eingetaucht werden sollten.

Ich wurde darauf geführt durch die oben S. 10 mitgetheilten Beobachtungen über den an der Froschhaut durch ungleichzeitige Benetzung bedingten elektromotorischen Unterschied. Ich habe versucht, ob etwas ähnliches sich auch an der Haut des lebenden unversehrten Menschen kund geben würde, und ich habe gefunden, dafs dies in der That der Fall ist.

Läfst man nämlich zwischen dem Eintauchen zweier Finger in die gesättigte Kochsalzlösung der Zuleitungsgefäfse, gleichviel ob die Finger ganz trocken oder eben erst mit Seife gewaschen worden sind (S. oben S. 204), eine gewisse Frist verstreichen, so verhält sich stets der jüngsteingetauchte Finger negativ gegen den erstbenetzten, d. h. er spielt die Rolle des negativen Metalls eines Zinkplatinbogens, den man sich an Stelle des menschlichen Körpers über die Zuleitungsgefäfse gebrückt denkt (Vergl. oben ebendas. Anm.). Der Strom ist bis zu einer gewissen Grenze um so stärker, eine je längere Frist man hat verstreichen lassen zwischen dem Eintauchen des ersten und dem des zweiten Fingers. Zwei Minuten Zeitunterschied im Eintauchen geben aber bereits ziemlich die stärkste Wirkung, wobei die Nadel des Multiplicators für den Nervenstrom, in günstigen Fällen, an die Hemmung geführt wird. Läfst man nun abermals einige Minuten verstreichen, und untersucht mittelst des Schliefsungsrohres den Zustand der Platinplatten, so findet man entweder keine Ladungen vor, oder nur solche, welche auch nach gleichzeitigem Eintauchen und dauerndem Eingetauchthalten entstanden wären in Folge des Eigenstromes der Finger. Die Finger haben sich also wieder mit einander abgeglichen. Sie thun dies auch, ohne dafs die Gefäfse, in die man sie getaucht hält, mit einander zum Kreise geschlossen sind. Taucht man beide Finger in zwei nicht mit einander leitend verbundene Gefäfse mit gesättigter Kochsalzlösung, läfst sie eine

Digitized by Google

Zeit lang darin verweilen, und überträgt dann die Finger ungleichzeitig in die Zuleitungsgefäfse, wobei man aber den zweiten Finger gleichfalls bis zuletzt in der Lösung halten mufs, so wird nur der Eigenstrom beobachtet, der sich sonst stets algebraïsch zu dem Ungleichzeitigkeitsstrom hinzufügt.

Sind die beiden Finger gleichartig geworden, und man taucht den einen tiefer ein, so entsteht von Neuem ein Strom in der Richtung von diesem Finger zum anderen im Körper, natürlich jedoch weit schwächer, als wenn der ganze Finger später eingetaucht wird. Zieht man aber einen Finger zum Theil aus der Lösung heraus, so giebt sich höchstens eine Spur von Stromabnahme wegen vergröfserten Widerstandes zu erkennen. Denn die Wirkungen sind in allen diesen Versuchen, in Uebereinstimmung mit der Angabe von Lenz und Ptschelnikoff (S. oben S. 195), merklich um so stärker, eine je gröfsere Fläche der Haut sich eingetaucht findet.

Diese Ungleichzeitigkeitsströme, wie ich sie nennen will, lassen sich, wenngleich mit abnehmender Stärke, mehreremal nach einander an denselben Fingern beobachten. Zieht man die Finger, nachdem sie gleichartig geworden sind, aus der Lösung heraus, so behalten sie zwar eine Zeit lang die Beschaffenheit, die ihnen durch den Aufenthalt in der Lösung ertheilt wird, so dafs sie ungleichzeitig wieder eingetaucht nur den Eigenstrom zeigen, jeder von ihnen aber mit einem frischen Finger gleichzeitig eingetaucht, sich positiv gegen ihn verhält. Wäscht man aber dergestalt durch die Lösung oberflächlich veränderte Finger mit Wasser oder mit Seife, oder läfst sie auch nur einige Zeit an der Luft trocknen, so verhält sich, beim ungleichzeitigen Eintauchen, der jüngstbenetzte abermals negativ gegen den anderen. Bei öfterer Wiederholung des Versuches wird die Wirkung aber zuletzt doch sehr viel kleiner als sie ursprünglich war, und in demselben Mafse weniger sicher.

Ich habe ähnliche Versuche, wie mit den einzelnen Fingern, mit den ganzen Händen angestellt. Dazu dienten mir zwei cylindrische Gefäfse aus Steingut von im Lichten ungefähr 16^{cm} Tiefe und 21^{cm} Durchmesser, die mit gesättigter Kochsalzlösung gefüllt wurden. Diese Gefäfse werde ich die Handgefäfse nennen, im Gegensatz zu den gewöhnlichen Zuleitungsgefäfsen, die in dieser Untersuchung fortan die Fingergefäfse heifsen sollen. In die Handgefäfse liefs ich, ihrem Rande nahe, die gewöhnlichen mit Fliefspapier bekleideten Zuleitungsplatten hineinhängen. Es wurde nämlich der wagerechte Messingstab, der die Platten trägt (S. Fig. 6. 12. Taf. I. 8. 9. 10. Taf. II. Bd. I. Fig. 129. Taf. IV. Bd. II), aus dem doppelt durchbohrten Klotz entfernt, mit dessen Hülfe er sonst an der senkrechten Säule der Zuleitungsvorrichtung (S. Fig. 6. Taf. I.

Digitized by Google

Bd. I) verstellt wird, und in die Korkklemme eines Magnus'schen Halters eingespannt. Die Platten liefs ich nur so tief in die Lösung hineinhängen, dafs wenn die Hand bis zum Handgelenk darin getaucht wurde, die Lösung eben den Saum der Bekleidung erreichte. Ein Bausch nach Art des Sattelbausches versah zwischen den Handgefäfsen die Stelle des Schliefsungsrohres.

Taucht man beide unversehrte Hände gleichzeitig und in gleichem Zustande in Bezug auf Beugung und Streckung der Finger[1] in die beiden Handgefäfse, so zeigt sich ein Kreis von Erscheinungen, der demjenigen völlig gleicht, zu dem das Eintauchen zweier Finger Anlafs giebt (S. oben S. 203). Nur dafs, wegen der gröfseren benetzten Oberfläche, sämmtliche Wirkungen sich stärker darstellen. Auch zwischen den Händen findet man einen Eigenstrom, wie zwischen den Fingern. Ob derselbe stets dieselbe Richtung zeigt, wie der Eigenstrom zwischen beliebigen Fingern beider Hände, kann ich um so weniger mit Bestimmtheit sagen, als ich ja noch nicht einmal darüber völlig im Reinen bin, ob wirklich alle Finger einer Hand sich stets auf dieselbe Art elektromotorisch verhalten gegen alle Finger der anderen Hand (S. oben S. 205). Ich glaube aber doch in der That, dafs dem so ist.

Läfst man zwischen dem Eintauchen beider Hände einige Zeit verstreichen, so erfolgt, wie bei den Fingern, ein Strom, der die jüngsteingetauchte Hand negativ anzeigt gegen die erstbenetzte; und auch dieser Strom fällt hier, des geringeren Widerstandes halber, gröfser aus als mit den Fingern.

Um ferner die nämlichen Versuche mit den Füfsen anzustellen, bediente ich mich zweier parallelepipedischer Kästen aus irdener Waare, von etwa 43^{cm} Länge, 12^{cm}.5 Breite und 13^{cm} Tiefe im Lichten, wie man sie in Berlin käuflich findet, um Epheu vor den Fenstern darin zu ziehen. Um diese Kästen für Flüssigkeiten undurchgängig zu machen, bestrich ich sie mit geschmolzenem Kolophoniumkitt (S. oben Bd. I. S. 643), nachdem ich sie über einem Kohlenfeuer bis zum Schmelzpunkte des Kittes erhitzt hatte. Ich werde diese Kästen in der Folge die Fufsgefäfse nennen. Sie kamen natürlich, für gewöhnlich, auf dem Erdboden zu stehen. Sie wurden mit gesättigter Kochsalzlösung gefüllt, und über eine ihrer kurzen Seitenwände die Zuleitungsplatten mittelst Magnus'scher Halter so tief in die Lösung hineingehängt, dafs beim Eintauchen der Füfse bis zum Fufsgelenk die Flüssigkeit den Saum der Bekleidung nicht überstieg. Die Platten befanden sich stets an derjenigen kurzen Seitenwand, welche der Fufsspitze gegenüberlag. Damit

[1] Die Folge wird lehren, worauf sich diese Einschränkung bezieht. S. unten, No. 6.

Digitized by Google

der Fuſs allseits von der Zuleitungsflüssigkeit frei umspühlt und nicht die Sohle durch Andrücken an den Boden des Gefäſses aus dem Kreise gebracht werde, kittete ich zwei Querleisten auf den Boden an, wovon die eine der Ferse, die andere den Zehen zum Stützpunkte diente, so daſs zwischen der Sohle und dem Boden noch einige Centimeter Abstand blieben. Die Ergebnisse der in diesen Gefäſsen mit dem gleichzeitigen und ungleichzeitigen Eintauchen der Füſse angestellten Versuche stimmten mit denen der Versuche an den Händen vollkommen überein.

Auch bei der Verbindung von Händen und Füſsen zum Kreise werden wir später die Ungleichzeitigkeitsströme auftreten sehen. Jedoch mischt sich dabei noch eine andere Erscheinung ein, weshalb dieser Versuche hier noch nicht ausführlich gedacht wird.

Nicht alle Gegenden der Hautoberfläche des menschlichen Körpers sind gleich geeignet, die Ungleichzeitigkeitsströme zu zeigen.

Von den beiden Elbogen zwar, die man, bei etwas gebeugten Elbogengelenken, leicht in den Handgefäſsen prüfen kann, verhält sich, in Kochsalzlösung, der jüngsteingetauchte stets stark negativ gegen den zuerst benetzten. Als ich aber, nachdem beide Hände in den zum Kreise geschlossenen Handgefäſsen gleichartig geworden waren, von den beiden Unterarmen abwechselnd den einen und den anderen in das entsprechende Gefäſs tiefer eintauchte, wobei sich stets der zuletzt versenkte hätte müssen negativ zeigen, erhielt ich nur unregelmäſsige Spuren von Wirkungen, sowohl der Gröſse, als der Richtung nach.

Ich faſste nun den Verdacht, daſs vielleicht auch an der Hand und den Fingern die Ströme wegen ungleichzeitigen Eintauchens bedingt sein möchten allein durch die innere Handfläche oder, wie ich sie nennen will, die Handsohle, deren Haut von besonderer Beschaffenheit ist. Dieser Verdacht fand sich in der That bestätigt.

Taucht man nämlich blos die Handrücken ungleichzeitig in die Salzlösung der Handgefäſse, so kommt es allerdings auch vor, daſs sich die beiden Handrücken als jüngstbenetzte negativ verhalten. Eben so oft aber wird das Gegentheil beobachtet, sie verhalten sich beide positiv; oder auch der eine positiv, der andere negativ. Ueberzieht man die Volarfläche zweier entsprechenden Finger beider Hände, z. B. der beiden Zeigefinger, soweit sie gefurcht erscheint, mit Schönbein'schem Klebäther (sogenanntem Collodium), so daſs allein die Rückenfläche der Benetzung mit der Kochsalzlösung ausgesetzt bleibt, so finden beim Eintauchen nur schwache unregelmäſsige Ströme statt; die Negativität des zuletzt eingetauchten Fingers ist nicht mehr deutlich vorhanden.

Berührt man hingegen die Oberfläche der Salzlösung in den Handgefäſsen nur mit der Handsohle, so verhält sich stets die jüngstbenetzte

Digitized by Google

Handfläche stark negativ gegen die früher eingetauchte. Ueberzieht man die Rückenfläche der Finger mit Klebäther bis zur Grenze der gefurchten Gegend, so zeigen sich ebenfalls richtig die Ströme wegen ungleichzeitigen Eintauchens.

Auch die zuletzt benetzte Fufssohle verhält sich stark negativ gegen die früher eingetauchte.

Um die Versuche auf den Fufsrücken, wie überhaupt auf solche Stellen des Körpers auszudehnen, welche man nicht eintauchen kann, wurde folgende Einrichtung getroffen. Die gewöhnlichen Zuleitungsgefäfse kamen, jedes mit seinem Brettchen, zwischen Leisten auf einem besonderen etwas gröfseren Brett zu stehen, von dem sich, an der vorderen Seite des Gefäfses, eine Wand senkrecht erhob. Diese Wand hatte in der Höhe des Randes des Gefäfses ein viereckiges Fenster, durch welches ein Bausch nach Art des Sattelbausches gesteckt wurde. Der Bausch hatte 20^{cm} Länge, 2^{cm} Breite und 1^{cm}.5 Dicke. Zur inneren Seite des Fensters hing er in das Zuleitungsgefäfs. In dem Fenster selbst war er durch einen Keil befestigt, und das lange freie Ende aufserhalb des Fensters konnte nun mit Sicherheit gehandhabt und den zu untersuchenden Körperstellen angelegt werden.

Es zeigte sich indefs, dafs diese Art der Ableitung der Ströme vom menschlichen Körper nicht zweckdienlich ist. Die Bäusche schmiegen sich nicht hinlänglich an die Körperformen an. Wegen der geringen Benetzbarkeit der Haut mit den wässerigen Flüssigkeiten ist daher die Berührung weder ausgedehnt, noch innig genug, noch endlich hinreichend gleichmäfsig. Die Oberhaut wird nicht hinlänglich von der Zuleitungsflüssigkeit durchdrungen und dadurch leitend gemacht. So ist, bei dieser Art der Ableitung, nicht allein der Widerstand einestheils zu grofs, anderntheils zu veränderlich, sondern auch über die elektromotorischen Kräfte der berührten Hautstellen erhält man ganz trügliche Auskunft. In der That es genügt, wenn die Bäusche zwei Stellen dauernd angelegt sind, den einen oder den anderen mehr oder weniger anzudrücken, um sogleich bedeutende Ablenkungen der Nadel, bald im einen, bald im anderen Sinne hervorzurufen. Es scheint, dafs diese Ablenkungen nicht allein davon herrühren, dafs der Bausch mit neuen Punkten der Haut in Berührung kommt, sondern auch das festere Andrücken des bereits dicht anliegenden Bausches erweist sich in der angegebenen Art wirksam. Vielleicht würde man mit Schwämmen glücklicher sein, die man an dicke baumwollene Schnüre befestigen könnte, wie man sich ihrer bedient, um die Fenstervorhänge seitlich einzureffen.

Wir werden aus diesen Gründen von dem Anlegen der Bäusche

Digitized by Google

an den Körper in der Folge fast gar keinen Gebrauch machen, sondern uns, so eng auch die Grenzen sind, die wir uns dadurch stecken, auf solche Anordnungen einschränken, wo die Zuleitungsflüssigkeit die zu berührenden Stellen der Körperoberfläche frei bespühlt. Die Folge wird lehren, dafs dies noch auf andere Weise verwirklicht werden kann, als durch das Eintauchen der Körpertheile in die Flüssigkeit und demnach die Zahl der zu untersuchenden Fälle sich doch um etwas gröfser herausstellt, als man beim ersten Anblick glauben möchte.

Was die hier in Rede stehende Frage betrifft, die wir mittelst der Bäusche zu erledigen gedachten, so versteht es sich nach dem Vorhergehenden von selbst, dafs die so erhaltene Antwort durch die dem Gebrauch der Bäusche anhaftenden Uebelstände gleichfalls verfälscht sein wird. Legt man die Bäusche ungleichzeitig dem Hand- oder Fufsrücken, dem Arm, dem Ober- oder Unterschenkel an, so beobachtet man meist nur sehr schwache, stets, sowohl nach Gröfse als nach Richtung, höchst unregelmäfsige Wirkungen. Es ist dabei gleichviel, ob die beiden berührten Stellen einer und derselben Gliedmafse angehören, in welchem Falle sie nicht leicht in gleicher Höhe daran angebracht werden können, oder ob sie in gleicher oder ungleicher Höhe an beiden Armen oder beiden Beinen gewählt sind. Man möchte also schliefsen, dafs diese Hautgegenden unfähig sind, die Ströme wegen ungleichzeitiger Benetzung zu zeigen. Allein dieser Schlufs, auf diese Thatsache gegründet, würde voreilig sein. Man erhält nämlich auch oft nicht viel deutlichere und regelmäfsigere Ausschläge, wenn man die Bäusche der Handsohle anlegt, die jener Wirkungen gewifs fähig ist.

Nichtsdestoweniger scheint es, nach den Versuchen am Unterarm und dem Handrücken, doch gewifs zu sein, dafs zwischen der eigenthümlich beschaffenen Haut der Hand- und der Fufssohle und der übrigen Haut ein Unterschied zu Gunsten der ersteren bestehe hinsichtlich ihrer Befähigung zum Hervorbringen der Ungleichzeitigkeitsströme.

Ich habe die Erscheinungsweise der Ungleichzeitigkeitsströme noch in anderen Flüssigkeiten ermittelt, als in der gesättigten Kochsalzlösung, deren wir uns für gewöhnlich bedienen. Alle übrigen Theile der Vorrichtungen blieben dabei unverändert, nur dafs, wie natürlich, die Zuleitungsplatten für jede Flüssigkeit eine neue Bekleidung erhielten und in der Flüssigkeit mit Hülfe eines neuen damit getränkten Schliefsungsbausches abgeglichen wurden. Zuerst versuchte ich Brunnenwasser. Die Ungleichzeitigkeitsströme erschienen merkwürdigerweise darin gerade wie in der Kochsalzlösung, mit dem einzigen aber wohl ausgeprägten Unterschied, dafs die beiden Elbogen sie in Brunnenwasser ebensowenig regelmäfsig zeigten als die Handrücken oder der Unterarm. Die Stärke

Digitized by Google

der Ströme war gröfser als in der Kochsalzlösung. Unter der Voraussetzung, die man beim ersten Blick für richtig halten sollte, dafs der Widerstand des Kreises bei Anwendung von Brunnenwasser als Zuleitungsflüssigkeit gröfser sei als bei der von Kochsalzlösung, würde daraus zu schliefsen sein, dafs den Ungleichzeitigkeitsströmen im Brunnenwasser eine gröfsere elektromotorische Kraft zu Grunde liegt, als in der Kochsalzlösung. Indessen wäre es möglich, dafs, wegen des langsameren Eindringens der Kochsalzlösung in die Oberhaut, der Widerstand des Kreises bei Anwendung von Brunnenwasser in den ersten Augenblicken doch kleiner ausfiele als bei der von Kochsalzlösung (Vergl. oben S. 210).

In der verdünnten Schwefelsäure (S. oben ebendas.) stellten sich die Erscheinungen ganz anders dar. Es zeigten sich allerdings, beim ungleichzeitigen Eintauchen der Finger, Ströme von ansehnlicher Stärke. Allein diese Ströme hatten die umgekehrte Richtung von der in der Kochsalzlösung und dem Brunnenwasser. Der zuletzt eingetauchte Theil, Finger, Handsohle, ganze Hand, verhielt sich nicht negativ gegen den erstbenetzten, sondern positiv. Wenigstens war dies der Fall am Anfang jeder Versuchsreihe, deren ich zu verschiedenen Zeiten mehrere anstellte. Hatte ich aber einige Zeit lang mit den Händen in der Säure gearbeitet, d. h. sie häufig eingetaucht, mit Wasser gewaschen, getrocknet und wieder eingetaucht, so wurden die Wirkungen unregelmäfsig. Manchmal zeigte sich der Erfolg, wie er eben angegeben wurde. Manchmal der umgekehrte, d. h. derselbe wie in Kochsalzlösung. Endlich manchmal auch hatte der Strom beim ungleichzeitigen Eintauchen die nämliche Richtung im Multiplicatorkreise, gleichviel ob auf der rechten oder auf der linken Seite zuletzt eingetaucht wurde. Ueber das Verhalten von Elbogen und Handrücken bin ich nicht so klar geworden, dafs ich ein Urtheil darüber abgeben möchte.

Endlich versuchte ich auch eine alkalische Flüssigkeit. Ich bereitete eine Lösung von Kali causticum siccum in Regenwasser von 1.026 Dichte bei 15°.5 C. Eine alkalimetrische Probe ergab einen Gehalt an Kalihydrat von ungefähr drittehalb Gewichtsprocenten. Eine stärkere Lösung läfst sich nicht anwenden. Schon diese bringt bei längerer Einwirkung lästige Zufälle hervor. Die Haut der Hände geräth in den runzlig aufgequollenen Zustand, worin sie sich an den Händen der Wäscherinnen nach langer Arbeit befindet. Nach dem Trocknen wird sie spröde und rissig und schuppt sich nach ein paar Tagen ab wie nach einem acuten Exanthem. Zartere Hautstellen aber röthen sich sogar unter lebhaftem Schmerz, schwellen auf und sind noch am anderen Tage empfindlich.

Mit den Zuleitungsplatten in der Kalilauge unmittelbar hat es mir

Digitized by Google

nicht gelingen wollen, die Vorrichtung hinlänglich gleichartig zu erhalten. Um sie vor dem Zutritt von Kohlensäure zu schützen, sperrte ich die feuchte Kammer (S. oben Bd. I. S. 219), in die ich sie behufs der Abgleichung gestellt hatte, gleichfalls mit Kalilauge ab. Wenn die Vorrichtung so einige Zeit gestanden hatte, fand ich sie in leidlich brauchbarem Zustande vor. Aber kaum hatte ich angefangen, damit zu arbeiten, so entwickelten sich ungeheure Ungleichartigkeiten, so dafs die Nadel des Multiplicators für den Nervenstrom auf 60—70° beständiger Ablenkung gehalten wurde. Unstreitig beruhten diese Ungleichartigkeiten darauf, dafs die Kalilauge auf beiden Seiten in verschiedenem Mafse Kohlensäure aufgenommen hatte. So gelang es auch Fechner nicht, bei Messungen der Stromstärke einer Platineisenkette mit Kalilauge als flüssigem Leiter übereinstimmende Werthe zu beobachten.[1] Doch habe ich mich nicht unmittelbar davon überzeugt, dafs sich mit Platinelektroden, kaustischer und kohlensaurer Kalilösung Ströme von solcher Stärke hervorbringen lassen.

Wie dem auch sei, diese Strömungen fanden sich, gemäfs dem oben Bd. I. S. 135 erwähnten Fechner'schen Grundsatze, so ziemlich beseitigt, als ich, anstatt die Zuleitungsgefäfse selber mit der Kalilauge zu füllen, und so diese die Platinenden des Multiplicators unmittelbar bespühlen zu lassen, vielmehr in den Zuleitungsgefäfsen wie gewöhnlich die Kochsalzlösung beibehielt, und mit der Kalilauge nur ein Paar Hülfsgefäfse anfüllte, die mit jenen verbunden wurden durch heberförmige, zweimal rechtwinklig gebogene Röhren voll Kochsalzlösung. Die Röhren waren an beiden Enden durch Stopfen aus Fliefspapier verschlossen. Der Stopfen auf Seiten der Kalilauge war, um die Verwechselung der Enden der Röhren zu verhüten, aus veilchenblauem Lackmuspapier gewickelt. Der Inhalt der Röhren und die Stopfen wurden erneuert, sobald das innere Ende dieses Stopfens sich blau gefärbt hatte.

Das Ergebnifs der Versuche war kein ganz sicheres. Mit den Fingern nämlich gelang es mir unter diesen Umständen durchaus nicht, regelmäfsige Ungleichzeitigkeitsströme zu beobachten. Ströme scheinbar wegen ungleichzeitigen Eintauchens erhielt ich zwar stets; aber bald zeigte sich der jüngstbenetzte Finger positiv, bald negativ; bald waren die Ströme stark, bald schwach. Merkwürdigerweise war der Erfolg beim ungleichzeitigen Eintauchen der beiden Handsohlen und der beiden Hände regelmäfsiger, und zwar derselbe als in der verdünnten Säure, umgekehrt wie in Kochsalzlösung und Brunnenwasser, d. h. die jüngstbenetzte Handsohle oder Hand erwies sich positiv. Von den beiden

[1] Poggendorff's Annalen u. s. w. 1839. Bd. XLVIII. S. 268.

Digitized by Google

Handrücken zeigte sich auch der zuletzt eingetauchte ziemlich regelmäfsig positiv; vielleicht nur durch einen Zufall, da ich diese, wie man sich leicht denken kann, sehr widerwärtigen Versuche eben nicht oft wiederholt habe.

Natürlich war es, wenn ich nicht fortwährend neue grofse Massen kaustischer Lauge bereiten wollte, unmöglich zu verhindern, dafs im Laufe der Versuche die Kalilösung mehr und mehr kohlensauer wurde. Indessen glaube ich nicht, dafs dadurch das Ergebnifs wesentlich verändert worden ist. Ich hatte später Gelegenheit,[1] die Ungleichzeitigkeitsströme an den Fingern auch in einer gesättigten Lösung von essigsaurem Natron zu untersuchen. Das Ergebnifs war, wie in der Kalilösung, eine vollkommene Unregelmäfsigkeit der Wirkungen.

Ich habe nicht unterlassen, auch die Finger der oben S. 211. 212 erwähnten Leichenhände in der gesättigten Kochsalzlösung auf die Ungleichzeitigkeitsströme zu prüfen. Dieser Versuch ging vielmehr an beiden Händen dem daselbst beschriebenen voraus. An der ersten Hand zeigten sich die Ungleichzeitigkeitsströme sehr schwach in der umgekehrten Richtung wie am Lebenden in derselben Flüssigkeit, d. h. der jüngstbenetzte Finger verhielt sich positiv. An der zweiten Hand dagegen hatten die Ströme die richtige Richtung, waren aber auch sehr schwach. Das wahre Verhalten bleibt demnach vorläufig unbekannt.

(n) Die Ungleichzeitigkeitsströme sind nicht blos Ströme wegen verschiedener Temperatur der eingetauchten Körpertheile.

Bei dem ersten Anblick der Ungleichzeitigkeitsströme am menschlichen Körper wird man sich leicht verleitet fühlen zu der Frage, ob nicht diese Ströme ganz einfach Ströme wegen ungleicher Temperatur der beiden benetzten Hautstellen seien. In der That wird unter den gewöhnlichen Umständen die Temperatur des zuletzt eingetauchten Fingers augenblicklich eine höhere sein als die des zuerst eingetauchten, insofern dieser durch die Flüssigkeit bereits abgekühlt ist, jener es erst wird; und auch die Richtung der Ungleichzeitigkeitsströme stimmt ziemlich gut mit dem, was wir von der Richtung der Thermoströme innerhalb der Grenzen der Temperatur wissen, worin sich unsere Versuche über die Ungleichzeitigkeitsströme bisher bewegt haben.

Die Temperatur der Oberfläche der Finger genau zu bestimmen, ist zwar sehr schwer, wenn nicht unmöglich. Ich glaube indessen nicht sehr zu irren, wenn ich sie bei mir, bei einer Lufttemperatur von etwa 15° C., auf etwa 28—30° C. veranschlage. Diese Schätzung be-

[1] S. unten, No. 7.

Digitized by Google

ruht darauf, dafs, wenn ich den Finger in Wasser von dieser Temperatur tauche und darin ruhig halte, ich durchaus kein Gefühl weder von Wärme noch von Kälte, oder überhaupt von der Gegenwart der Flüssigkeit habe. Die zeitige Lufttemperatur gebe ich mit an, weil ich bei 10° Lufttemperatur Wasser von 30° allerdings schon merklich warm empfinde.

Die Zuleitungsflüssigkeit theilte in unseren bisherigen Versuchen die mittlere Lufttemperatur von etwa 15°. Ein Finger bei 30° verhält sich, wie man sich erinnert, negativ gegen einen solchen bei 15°. Negativ aber, haben wir gefunden, verhält sich gerade auch der zuletzt eingetauchte, oberflächlich also noch 30° warme Finger, gegen den schon seit längerer Zeit eingetauchten, oberflächlich auf 15° erkälteten Finger.

So weit pafst die vorgeschlagene Erklärung auf die Erscheinungen. Auch würde damit gut der Umstand stimmen, dafs man die Ungleichzeitigkeitsströme viele Male nacheinander an denselben Fingern beobachten kann, wie auch, dafs sie in Wasser erscheinen, dem man doch die Fähigkeit nicht zuschreiben sollte, die Haut so zu verändern, dafs sie sich gegen noch unbenetzte Haut elektromotorisch ungleichartig verhält. Nichtsdestoweniger deckt eine nähere Betrachtung verschiedene Gründe auf, weshalb der Unterschied der Temperatur durchaus nicht die einzige Ursache der Ungleichzeitigkeitsströme sein kann.

Zuerst ist zu bemerken, dafs die Ungleichzeitigkeitsströme viel zu stark sind, als dafs man ihren Quell in dem vorhandenen Temperaturunterschied suchen dürfte. Ein Finger bei 30° gleichzeitig eingetaucht mit einem Finger bei 15° giebt einen Ausschlag von höchstens 20—30°. Hingegen die Ungleichzeitigkeitsströme führen nicht selten die Nadel an die Hemmung.

Zweitens ist, nach der hier in Rede stehenden Deutung der Ungleichzeitigkeitsströme, nicht zu begreifen, weshalb diese Ströme sollten in der verdünnten Schwefelsäure die umgekehrte Richtung haben von der in der Kochsalzlösung und dem Brunnenwasser, da doch die Thermoströme in allen drei Flüssigkeiten das nämliche Gesetz befolgen (S. oben S. 210).

Drittens müfsten, wenn jene Deutung die richtige wäre, die Ungleichzeitigkeitsströme vermifst werden, oder sehr viel schwächer erscheinen, wenn man der Zuleitungsflüssigkeit die Temperatur ertheilt, welche, der zeitigen Lufttemperatur gemäfs, der Oberfläche der Finger zukommt; nach dem oben angegebenen Merkmal also diejenige, bei welcher der eingetauchte Finger nicht Kälte, nicht Wärme empfindet. Dies trifft nicht zu. Vielmehr traten, wie ich mich ausdrücklich über-

Digitized by Google

zeugt habe, die Ungleichzeitigkeitsströme in der Kochsalzlösung sowohl als dem Brunnenwasser auch unter diesen Umständen in gewohnter Weise auf. In der Kalilauge wurden sie nicht regelmäfsiger, nur etwas stärker schienen sie mir zu sein. In der verdünnten Schwefelsäure ist der Versuch nicht angestellt.

Viertens, wenn die Ungleichzeitigkeitsströme nur auf dem Temperaturunterschied beruhten, so wäre nicht einzusehen, weshalb nicht alle Hautstellen in gleicher Weise befähigt sein sollten, sie zu zeigen, da doch die Bedingung einer über die der Zuleitungsflüssigkeit erhöhten Temperatur für alle in gleichem Mafse stattfindet. Man könnte aber fragen, ob nicht vielleicht die Hautstellen, welche die Ungleichzeitigkeitsströme versagen, z. B. die Handrücken, auch die Ströme wegen ungleicher Temperatur vermissen lassen. Dies ist jedoch, wie ich mich ausdrücklich überzeugt habe, nicht der Fall. Ich ertheilte dem einen Handrücken in gesättigter Kochsalzlösung die Temperaturen von 0° und 45°, und prüfte ihn gegen den anderen, auf 15° gehaltenen, in den mit gesättigter Kochsalzlösung gefüllten Handgefäfsen. Beidemal wurde, wie es nach den Versuchen an den Fingern sein mufste, der erstere stark positiv gegen den letzteren gefunden.

Diese Gründe genügen wohl, um die fragliche Ansicht zu widerlegen. Der Temperaturunterschied ist die alleinige Ursache der Ungleichzeitigkeitsströme nicht. Ich sage die alleinige Ursache, weil eben so wenig zu bezweifeln ist, dafs zu der noch unbekannten Ursache, welche den Ungleichzeitigkeitsströmen wirklich zu Grunde liegt, auch noch der Temperaturunterschied hinzutritt. Dies zeigt sich deutlich darin, dafs die Ungleichzeitigkeitsströme sehr an Stärke zunehmen, wenn man der Zuleitungsflüssigkeit die Temperatur von 0° ertheilt. Sie nehmen nicht minder an Stärke zu, wenn man diese Flüssigkeit 45° warm nimmt. In beiden Fällen mufs sich, wie man leicht versteht, der zuerst eingetauchte Finger wegen des Temperaturunterschiedes positiv verhalten gegen den zuletzt eingetauchten. Im zweiten Falle kommt natürlich noch hinzu, dafs der Widerstand der Oberhaut vermindert wird. Doch ist leicht zu beweisen, dafs dies nicht allein der Grund ist, weshalb die Ungleichzeitigkeitsströme in der warmen Zuleitungsflüssigkeit stärker erscheinen. Dieser Beweis liegt darin, dafs die Ungleichzeitigkeitsströme in der verdünnten Schwefelsäure ihre Richtung umkehren, also mit denen in der Salzlösung gleichsinnig werden, wenn man der verdünnten Säure die Temperatur von 45° C. ertheilt. Dasselbe ist der Fall, wenn man der Säure die Temperatur von 0°, oder noch besser von einigen Graden unter Null, ertheilt. Diese Erscheinung der Umkehr der Ungleichzeitigkeitsströme in der heifsen und kalten Säure kann nicht anders

Digitized by Google

erklärt werden, als durch die Annahme, dafs die Thermoströme, welche die wirklichen Ungleichzeitigkeitsströme begleiten, sie unter diesen Umständen überwiegen.

(m) Fernere Betrachtungen über die Ungleichzeitigkeitsströme.

Nachdem jetzt der Verdacht beseitigt ist, wonach die Ungleichzeitigkeitsströme am menschlichen Körper nur von dem Temperaturunterschied herrühren sollten, der sich zufällig in den Versuch eingemischt findet, wird es angemessen sein, uns zu erkundigen, wie weit denn diese Ströme mit den am Frosch übereinkommen, durch die wir zu ihrer Entdeckung geführt worden sind. Diese hatten wir, wie man sich erinnert, auf folgende Grundthatsache zurückgeführt: Die äufsere Hautlamelle der nackten Amphibien nach Czermak ist der Sitz einer von aufsen nach innen gerichteten elektrischen Triebkraft, welche in der Berührung mit den verschiedenen von uns angewandten Zuleitungsflüssigkeiten, mit Ausnahme des Brunnenwassers, zu Grunde geht (S. oben S. 9 ff).

Beim ersten Blick kann es nun wirklich den Anschein haben, als ob beide Erscheinungen, die am Menschen und die am Frosch, von einerlei Art sein müfsten. Am Frosch, wie am Menschen, verhielt sich die jüngstbenetzte Stelle negativ gegen die erstbenetzte; und wenn man sich erinnert, dafs wir oben S. 19 fast nicht umhin konnten, uns zu fragen, ob nicht eine Beziehung obwalte zwischen der elektromotorischen Kraft, die die Ungleichzeitigkeitsströme an der Haut der nackten Amphibien bedingt, und dem in dieser Haut stattfindenden ausgezeichneten Absonderungsvorgang, so ist es schwer, jetzt nicht etwas Bedeutsames in dem Umstand zu sehen, dafs am menschlichen Körper auch gerade die Hand- und Fufssohle zur Erzeugung solcher Ströme besonders befähigt erscheinen, zwei Hautstellen, an denen die Schweifsdrüsen in ungewöhnlich grofser Anzahl verbreitet sind.[1]

Indessen erweist sich bei näherer Betrachtung dieser Anschein doch als trüglich, und die Aehnlichkeit zwischen den Ungleichzeitigkeitsströmen am Frosch und am Menschen als eine mehr äufserliche.

Ein erster Unterschied, der aber noch nicht zu diesem Ausspruch berechtigen würde, besteht darin, dafs beim Frosch die Ungleichzeitigkeitsströme an einer und derselben Stelle nur einmal beobachtet werden können, während beim Menschen dies viele Male nach einander in fast gleicher Art von statten geht. Dieser Unterschied ist genau genommen

[1] S. Krause, in Rud. Wagner's Handwörterbuch der Physiologie u. s. w. Artikel »Haut«. Bd. II. Braunschweig 1844. S. 131.«

Digitized by Google

nur ein gradweiser. Denn auch am Frosch kann man die Ungleichzeitigkeitsströme mehrmals von derselben Stelle erhalten, wenn man nur das sonst unversehrte Thier in Wasser setzt und ihm Zeit gönnt, den normalen Zustand seiner Haut wieder zu erlangen (S. oben S. 20). Der Unterschied würde also im Grunde blos darauf hinauslaufen, dafs die menschliche Haut schneller als die des Frosches ihren normalen Zustand wieder erlangte, ganz in Uebereinstimmung mit dem, was man von der Lebhaftigkeit der Ernährungsvorgänge in warmblütigen Thieren im Vergleich zu der in kaltblütigen weifs, wie auch mit dem Umstand, dafs die für Flüssigkeiten undurchgängige menschliche Haut durch die ätzenden Zuleitungsflüssigkeiten nicht so tief angegriffen werden kann, als die feuchte leicht durchdringliche Froschhaut, deren Ungleichzeitigkeitsströme denn auch viel stärker erscheinen, als die der menschlichen Haut.

Ein anderer Unterschied, der auch noch nicht als mafsgebend erscheint, ist der, dafs die menschliche Haut in Brunnenwasser die Ungleichzeitigkeitsströme zeigt, während die Froschhaut sie bei Anwendung dieser Zuleitungsflüssigkeit vermissen läfst. Denn das Wasser könnte gewissermafsen für die Haut des Menschen ein Aetzmittel darstellen, wie es dies ja z. B. für Muskelfleisch thut, während die Froschhaut zweifellos einen solchen Bau hat, dafs sie vom Wasser keine schädliche Einwirkung erfährt.

Der Umstand aber, der eine strenge Grenze zieht zwischen den Ungleichzeitigkeitsströmen am Frosch und denen am Menschen, ist folgender. Am Frosch behalten diese Ströme einerlei Richtung, gleichviel welcher Art die angewandte Zuleitungsflüssigkeit sei, ob sauer oder alkalisch oder eine gesättigte Lösung eines neutralen Salzes. Dies war die Thatsache, die uns zu der Annahme zwang, dafs die elektrische Triebkraft, die die Ungleichzeitigkeitsströme erzeugt, nicht zu suchen sei an der Grenze der Haut und der Zuleitungsflüssigkeit, nicht erst gesetzt werde durch die Berührung der Haut mit der Flüssigkeit, sondern in der Haut vorbestehe, und durch diese Berührung vielmehr vernichtet werde. Anders an der menschlichen Haut. Hier haben die Ströme in der Schwefelsäure, um von der Kalilauge zu schweigen, die umgekehrte Richtung von der in den übrigen Flüssigkeiten. Es kann also hier, so scheint es, nicht die Rede sein von der Vorstellung, die wir uns von dem Sitz der Triebkraft an der Haut der nackten Amphibien gemacht haben. Die elektromotorische Kraft, welche die Ungleichzeitigkeitsströme an der menschlichen Haut hervorbringt, kann nicht als darin vorbestehend gedacht werden. Sondern sie rührt mehr oder weniger unmittelbar von der Benetzung mit der Zuleitungsflüssigkeit her.

Digitized by Google

Es würden also diese Ungleichzeitigkeitsströme, statt denen der Froschhaut, vielmehr denen der Metalle zu vergleichen sein. Um sie aber, von diesem Gesichtspunkt aus, einer physikalischen Zergliederung zu unterwerfen, erscheint es jedenfalls nothwendig, zuvor noch Kenntnifs zu nehmen von einer anderen Reihe elektromotorischer Erscheinungen der Haut, welche zu den Ungleichzeitigkeitsströmen unzweifelhaft die engste Beziehung haben. Von diesen handelt die folgende Nummer. Hier mag nur noch bemerkt werden, dafs sich uns in den Ungleichzeitigkeitsströmen ein neuer Grund zu erkennen gegeben hat für die unregelmäfsigen flüchtigen Wirkungen, welche bei dem scheinbar gleichzeitigen Benetzen symmetrischer Hautstellen aufzutreten pflegen; indem man natürlich annehmen kann, dafs die Bedingung der Gleichzeitigkeit des Eintauchens sich niemals ganz genau erfüllt finden werde (S. oben S. 205).

5. Von Strömen bedingt durch vorgebildete elektromotorische Ungleichartigkeiten der menschlichen Hautoberfläche.

Wir haben uns nun unterrichtet, wie sich symmetrisch am Körper gelegene Hautstellen unter verschiedenen Umständen elektromotorisch zu einander verhalten. Auf symmetrische Hautstellen haben wir uns bisher deshalb beschränkt, weil wir noch nicht wissen können, ob nicht bei Verbindung asymmetrischer Stellen sich der Muskelstrom der Glieder in das Ergebnifs einmischt, und auch weil die Möglichkeit vorhanden ist, dafs sich am Menschen, wie am Frosch, asymmetrische Hautstellen an und für sich elektromotorisch ungleichartig verhalten. Es zeigt sich nun in der That, dafs man fast immer starke und ihrer Richtung sowohl als ihrer Gröfse nach beständige Ströme erhält, wenn man verschiedene Körpertheile durch den Multiplicator in leitende Verbindung bringt. Ich beschreibe auch hier die Erscheinungen zuerst, wie sie sich bei Anwendung von Kochsalzlösung als Zuleitungsflüssigkeit gestalten.

(1) Versuche mit gesättigter Kochsalzlösung als Zuleitungsflüssigkeit.

Was ich über das elektromotorische Verhalten verschiedener Finger gegeneinander bisjetzt ermitteln konnte, findet sich oben S. 205 bereits angegeben.

Berührt man mit der Sohle der einen Hand die Oberfläche der Kochsalzlösung in dem einen Handgefäfs, mit dem Rücken der anderen Hand die Oberfläche der Kochsalzlösung in dem anderen Handgefäfs,

Digitized by Google

so fliegt die Nadel an die Hemmung, indem sie die Handsohle als negativ anzeigt gegen den Handrücken. Es ist dabei für die Richtung des Stromes gleichgültig, ob man die Lösung zuerst mit der Sohle oder mit dem Rücken berührt. Die Wirkung ist beständig, d. h. sie hält abgesehen von der Schwächung durch die Polarisation so lange an, als man Lust hat sie zu beobachten.

Sie ist übrigens so entschieden, dafs man sie auch leicht und unzweifelhaft mittelst der Bäusche nachweisen kann. Man wendet dazu die oben S. 222 beschriebene Vorrichtung an, indem man die beiden Hälften derselben einander gegenüberstellt, die eine Hand mit ihrer einen Fläche auf den einen Bausch, und den anderen Bausch auf die andere Fläche derselben Hand legt. Stets geht der Strom in der Hand von der Handsohle zum Handrücken. Diese Erscheinung habe ich nicht allein an mir selber, sondern auch an meinem Freunde, Herrn G. Kirchhoff beobachtet. Ich habe denselben Versuch an den oben S. 211. 212. 226 bereits erwähnten Leichenhänden angestellt. An der ersten Hand zeigte sich der Strom nicht; wenn eine Spur da war, hatte sie die umgekehrte Richtung von dem Strom am Lebenden. An der zweiten Hand, die einer viel älteren Leiche angehörte, fand ich dagegen den Strom in der richtigen Richtung und in ziemlicher Stärke vor. Es ist bemerkenswerth, dafs die erste Hand auch die Ungleichzeitigkeitsströme vermissen liefs, die zweite hingegen sie zeigte.

Man kann den fraglichen Versuch noch dahin abändern, dafs man auf der einen Seite die ganze Hand eintaucht, auf der anderen nur die Oberfläche der Kochsalzlösung mit dem Handrücken oder mit der Handsohle berührt. Die ganze Hand verhält sich negativ gegen den Handrücken, positiv gegen die Handsohle. Oder man kann auch beide Hände ganz eintauchen, nachdem man die Sohle der einen mit Klebäther bestrichen hat. Diese verhält sich positiv gegen die andere, jedoch schwächer, als wenn man wirklich nur den Handrücken eintaucht. Es scheint danach, dafs die dünne Schicht Klebäther doch nicht vollkommen isolirt oder nicht vollkommen zusammenhängend herzustellen ist.

Nicht blos der Handrücken ist positiv gegen die Handsohle. Mittelst der Bäusche findet man, dafs auch die verschiedenen Punkte des Unterarms sich positiv dawider verhalten. Taucht man in das eine Handgefäfs den Elbogen des einen Armes, und berührt man die Oberfläche der Kochsalzlösung in dem anderen Handgefäfs mit der Handsohle des anderen Armes, so entsteht, unabhängig von der Reihenfolge des Eintauchens, ein überaus starker Strom in der Richtung von der Handsohle zum Elbogen im Körper, der also aufsteigend im Unterarm ist. Der Versuch läfst sich zur Noth auch mit Elbogen und Handsohle des

Digitized by Google

nämlichen Armes anstellen, wenn man das Handgefäfs für den Elbogen etwas tiefer stellt als das für die Handsohle.

Es ist aber nicht allein die Handsohle, die sich negativ gegen den Elbogen verhält. Auch der Handrücken thut dies gegen den Elbogen derselben sowohl als gegen den der anderen Seite. Doch ist der Strom dabei merklich schwächer; ob wegen gröfseren Widerstandes oder geringerer elektromotorischer Kraft, weifs ich noch nicht mit Bestimmtheit zu sagen. Auch die ganze Hand verhält sich demgemäfs negativ gegen den Elbogen und zwar so stark, dafs die Nadel des Multiplicators für den Nervenstrom fast beständig an die Hemmung gelehnt bleibt. Der Strom hat demnach eine Stärke ungefähr wie der eines mit künstlichem Quersehnitt aufgelegten Muskels (S. oben Abth. I. S. 492), und schickt sich sehr gut zur Beobachtung am Multiplicator für den Muskelstrom. Man kann auch in das eine Handgefäfs den Elbogen, in das eine der Fingergefäfse einen Finger eintauchen. Auch so erhält man in dem Arm einen starken aufsteigenden Strom von nahe beständiger Kraft.

Natürlich ist ein solcher Strom im höchsten Grade geeignet, unsere Aufmerksamkeit auf sich zu ziehen. Gleichviel welche Bewandtnifs es mit dem Strom zwischen Handsohle und Handrücken haben möge, der sich nicht wohl dieser Auffassung fügt, was liegt näher als der Gedanke, dafs der aufsteigende Strom im Unterarm ganz einfach der Muskelstrom ist? Nichts dringenderes können wir danach zu thun haben, als den Versuch zu machen, die Gegenwart eines solchen Stromes auch im Oberarme und dem ganzen Arm, sodann im Bein zu ermitteln.

Hierzu ist es nöthig, den einen Ableitungspunkt des Stromes an den Rumpf selbst zu verlegen, und es tritt somit eine grofse experimentelle Schwierigkeit ein, da mit Bäuschen, die man dem Körper anlegt, nach dem oben S. 222 Gesagten hier nun einmal nichts anzufangen ist. Auf folgende Art ist es mir, nach mancherlei vergeblichen Bemühungen, zuletzt geglückt, diese Schwierigkeit zu überwinden.

Aus einer starken Platte geschwefelter Guttapercha verfertigte ich ein vierseitig prismatisches Gefäfs von 75^{mm} Länge, 35^{mm} Breite und 75^{mm} Höhe. Das Gefäfs hatte nur drei Seitenwände. Es fehlte ihm nämlich die eine lange Seitenwand. Diese sollte durch den menschlichen Körper selbst gebildet werden, indem das seitlich offene Gefäfs ihm mit seinen drei Rändern, wovon zwei senkrecht, und einer, der untere, wagerecht, fest angedrückt würde. Man übersieht nun bereits den Plan des Versuches. In das Gefäfs sollte Kochsalzlösung gegossen werden, welche die Haut innerhalb des Gefäfses gerade so frei bespühlte, als ob diese darin eingetaucht wäre. Von der Lösung aus konnte alsdann die Ableitung des Stromes auf verschiedene Weise ohne Schwierigkeit geschehen.

Digitized by Google

Das Mifsliche war die Herstellung des Verschlusses. Um diesen zu erzielen, waren die drei freien Ränder des Gefäfses, die dem Körper angelegt werden sollten, nicht scharf abgeschnitten, sondern in 15^{mm} Breite nach aufsen umgebogen, so dafs sie eine ausgedehnte Berührungsfläche darboten. Als Ort, um das Gefäfs daselbst anzubringen, wählte ich die Mitte der Brust. Der untere Rand des Gefäfses kam etwa in der Höhe des Schwertfortsatzes des Brustbeins zu liegen. Es hielt nicht schwer, den Rändern des Gefäfses eine solche Gestalt zu geben, dafs sie sich möglichst genau den Körperformen anschlossen. Dazu war nur nöthig, diese Ränder in heifsem Wasser zu erweichen, sie der Brust an der Stelle, die sie später einnehmen sollten, fest anzudrücken, und in dieser Lage erkalten zu lassen. Die Ränder wurden nun mit Oel bestrichen und das Gefäfs mittelst eines starken Gurtes an den Körper geschnallt. Es zeigte sich, dafs, wenn nicht durch Nachlassen des Gurtes, Gleiten des Gefäfses, heftige Bewegungen des Rumpfes u. d. m. die Güte des Verschlusses beeinträchtigt wurde, das Gefäfs so dicht hielt, dafs kein Tropfen Flüssigkeit daraus verloren ging.

Das Füllen des Gefäfses war natürlich leicht zu bewerkstelligen. Schwieriger war das Entleeren ohne Verschüttung eines Theils des Inhaltes ausführbar, namentlich da ich an mir selber, grofsentheils ohne Gehülfen, diese Versuche anzustellen genöthigt war. Ich brachte daher in einer der beiden vorderen Ecken des Gefäfses ein bis auf den Boden reichendes Rohr aus geschwefeltem Kautschuk an, welches lang genug war, um aufserhalb des Gefäfses, wo es mit der Röhre eines kleinen Glastrichters verbunden war, über den Boden des Gefäfses herabzuhängen. Sollte das Gefäfs entleert werden, so sog ich das Rohr voll Flüssigkeit, wobei der kleine Glastrichter als Mundstück diente, preste es an seinem mit dem Trichter verbundenen Ende mit den Fingern zusammen, bog es im gefüllten Zustande über, und hatte so einen Heber hergestellt, der das Gefäfs bis auf wenige Tropfen schnell und sicher entleerte.

Ich werde dies Gefäfs in der Folge das Brustgefäfs nennen. Um mittelst desselben z. B. den Strom zwischen Hand und Brust zu untersuchen, wurde folgendermafsen verfahren. Es wurde das eine der gewöhnlichen Zuleitungsgefäfse auf die oben S. 222 beschriebene Art mit einem Bausch versehen und durch den Bausch zuerst mit dem einen Handgefäfs behufs der Abgleichung verbunden. Dann wurde das Brustgefäfs voll Lösung gegossen, und die Hand in das Handgefäfs getaucht. Endlich wurde das Zuleitungsgefäfs mit seinem Bausch dem Brustgefäfs gegenüber passend aufgestellt, und durch den Bausch die Verbindung beider Gefäfse bewerkstelligt. Nach Beobachtung des sich etwa kundgebenden Stromes wurde der Bausch des Zuleitungsgefäfses wieder in

Digitized by Google

das Handgefäfs hineingehängt, um sich der Gegenwart von Ladungen zu versichern und ihnen Gelegenheit zur Abgleichung zu geben.

Das Ergebnifs der Versuche war, dafs, gleichviel ob nur die Handsohle oder nur der Handrücken die Oberfläche der Lösung im Handgefäfs berührten, oder ob die ganze Hand in die Lösung getaucht wurde, stets ein überaus starker aufsteigender Strom dauernd im Arme gegenwärtig war. Auch hier gab indessen der Handrücken einen schwächeren Strom als die Handsohle, vollends die ganze Hand. Eine ungemeine Heftigkeit erlangte der Strom, als ich beide Hände in beide Handgefäfse tauchte, deren jedes durch ein Paar Platinplatten, gleich denen meiner Zuleitungsgefäfse, mit dem einen Multiplicatorende verbunden war, während das andere Multiplicatorende mit dem Brustgefäfs zusammenhing.

Um zu erfahren, ob auch der Oberarm, gleich dem Unterarm, sich als den Sitz eines aufsteigenden Stromes erweisen würde, tauchte ich, statt der Hand, den Elbogen in das eine Handgefäfs, während die Ableitung am Rumpfe dieselbe blieb. Ich gelangte jedoch zu keinem recht befriedigenden Ergebnifs. Zu Anfang des Versuches war der Strom wirklich mehrmals aufsteigend im Oberarm. Häufig aber war er absteigend, und, wenn er auch anfänglich aufsteigend gewesen war, schlug er zuletzt doch fast in allen Fällen in die absteigende Richtung um.

Nun wendete ich mich zu der Erforschung ähnlicher Ströme am Bein. Zuerst suchte ich auch hier das elektromotorische Verhalten zwischen Sohle und Fufsrücken zu ermitteln. Da der Fufsrücken nicht eingetaucht werden kann, mufste ich mich mit den Bäuschen behelfen, die auf die oben S. 222 beschriebene Art angewendet wurden; oder auch es wurde die Oberfläche der Lösung in dem einen Fufsgefäfs mit der Sohle des einen Fufses berührt, und der eine Bausch dem Rücken desselben oder des anderen Fufses angelegt. Die Bäusche müssen bei diesen Versuchen eine nichtleitende Handhabe, etwa aus Guttapercha, besitzen, damit nicht der Strom zwischen Hand und Fufs, von dem später die Rede sein wird, sich in das Ergebnifs eindränge.

Stets zeigte sich die Sohle stark negativ gegen den Fufsrücken, d. h. es ging ein Strom von der Sohle im Fufs nach dem Fufsrücken, gerade wie in der Hand bei der entsprechenden Anordnung ein Strom von der Handsohle zum Handrücken ging. Legte ich den einen Bausch, statt dem Fufsrücken, dem Unterschenkel, oder dem Knie, oder dem Oberschenkel an, während die Sohle des einen Fufses oder der ganze eine Fufs in die Lösung des einen Fufsgefäfses tauchten, so wurde gleichfalls, jedoch nicht sehr regelmäfsig, ein aufsteigender Strom beobachtet.

Hingegen zwischen Fufssohle oder ganzem Fufs und der Brust

Digitized by Google

findet sich wieder ein ausnehmend starker aufsteigender Strom vor, gerade wie zwischen Hand und Brust. Er verdoppelt seine Heftigkeit, wenn man beide Füfse in beide Fufsgefäfse setzt, diese mit dem einen und das Brustgefäfs mit dem anderen Multiplicatorende verknüpft.

Es war nicht ohne Wichtigkeit, auch das elektromotorische Verhalten von Fufs und Hand gegeneinander zu erforschen. Es wurden also das eine Handgefäfs und das eine Fufsgefäfs so nebeneinander aufgestellt, dafs man zugleich die Hand in's Handgefäfs tauchen und den Fufs in's Fufsgefäfs setzen konnte, und dafs die beiden Gefäfse, zur Beobachtung der Ladungen und zur Abgleichung, durch einen Bausch verbunden werden konnten. Die letztere Bedingung verlangt, dafs die Ränder der beiden Gefäfse in derselben wagerechten Ebene liegen. Die erstere Bedingung war bei mir erfüllt, wenn diese Ebene etwa 50^{mm} über dem Fufsboden gewählt wurde.

Das elektromotorische Verhalten von Hand und Fufs zueinander in gesättigter Kochsalzlösung ist kein ganz unabänderlich bestimmtes. Manchmal geschieht es, dafs man den Fufs negativ findet gegen die Hand, d. h. der Strom ist im Arm absteigend, im Bein aufsteigend. In der Mehrzahl der Fälle indefs verhält sich der Fufs positiv gegen die Hand, und zwar erreicht diese Wirkung nicht selten eine aufserordentliche Heftigkeit. Beide Stromesrichtungen zeigen sich übrigens im Verlauf einer und derselben Versuchsreihe, indem anfangs die aufsteigende Richtung im Bein obwaltet und dann plötzlich der absteigenden Richtung Platz macht, ohne dafs irgend ein Grund dafür ersichtlich würde. Den umgekehrten Fall, dafs nämlich der absteigende Strom im Bein in den aufsteigenden umschlüge, habe ich nicht gesehen. Es kann vorkommen, dafs, während eine Hand mit einem Fufs zusammen die eine Stromesrichtung zeigt, sie mit dem anderen Fufs zusammen im anderen Sinne wirksam ist; und dasselbe kann der Fall sein für einen und denselben Fufs bei seiner Verbindung mit beiden Händen. Beide Hände gegen beide Füfse verhielten sich in dem Fall, als ich den Versuch anstellte, negativ, und der Strom war von solcher Heftigkeit, dafs die Astasie des Nadelpaares gefährdet erschien.

Die Richtung des Stromes bleibt dieselbe, gleichviel ob man die ganze Hand eintaucht, oder ob man nur die Lösung im Handgefäfs mit der Handsohle oder dem Handrücken berührt. Der Handrücken giebt aber freilich den schwächeren Strom, wenigstens wenn der Strom im Bein absteigend ist. Ob dies auch dann der Fall ist, wenn der Strom im Bein ansteigt, habe ich noch nicht mit Bestimmtheit ermittelt. Der Strom erscheint auch, wenn man nur mit den Fingern einen Bausch ergreift, der durch das eine Zuleitungsgefäfs mit dem einen Multiplicator-

Digitized by Google

ende zusammenhängt, während der Fuſs in das mit dem anderen Multiplicatorende verbundene Fuſsgefäſs eingetaucht ist. Daher die oben gegebene Vorschrift in Bezug auf die Handhabung des Bausches bei der Erforschung des elektromotorischen Verhaltens von Sohle und Fuſsrücken.

Endlich sei noch gesagt, daſs sich die Hand negativ verhält gegen das Knie, welches sich, wenn auch mit einiger Unbequemlichkeit, in stark gebeugtem Zustande in das eine Fuſsgefäſs tauchen läſst. So verhält sich auch der Fuſs negativ gegen den Elbogen. Knie und Fuſs sind nicht zusammen in dieser Weise geprüft worden.

Bei den Versuchen an Fuſs und Hand giebt sich deutlich ein Einfluſs auf die Stärke des ersten Ausschlages zu erkennen von Seiten der Reihenfolge des Eintauchens (Vergl. oben S. 221). Herrscht z. B. der im Bein absteigende Strom zwischen Hand und Fuſs, so ist der erste Ausschlag heftiger, wenn die Hand zuletzt, als wenn der Fuſs zuletzt eingetaucht wird. Das umgekehrte ist der Fall, wenn der Strom im Bein aufsteigt. Bei den übrigen Anordnungen habe ich den Einfluſs der Reihenfolge des Eintauchens noch nicht sorgfältig genug erforscht, um mit Sicherheit darüber urtheilen zu können.

(11) Erörterung der vorigen Versuche.

Diese Ergebnisse scheinen mit der Ansicht, von der wir oben S. 223 ausgegangen sind, beim ersten Anblick im besten Einklang zu stehen: daſs es uns nämlich gelungen sei, in dem aufsteigenden Strom des Unterarmes wirklich den Muskelstrom am Menschen selber nachzuweisen. Wir haben nunmehr ähnliche Ströme auch am Oberarm, dem ganzen Arm, dem Unterschenkel und dem ganzen Bein entdeckt; Ströme von beständiger, meist aufsteigender Richtung, beständiger Kraft, und auch an und für sich von angemessener Stärke, wie man sie wohl von den beträchtlichen Muskelmassen des menschlichen Körpers im Vergleich zu denen des Frosches erwarten kann.

Ein Umstand zwar, der einigen Anstoſs erregen könnte, ist der der schwankenden Richtung des Stromes zwischen Hand und Fuſs. Dieser Strom würde der Unterschied sein des aufsteigenden Stromes im Arme und desjenigen im Beine. Indessen haben wir am Frosch in Erfahrung gebracht, daſs die parelektronomische Schicht an den Muskeln eines und desselben Thieres sich nicht nur zu verschiedenen Zeiten, sondern auch zu einer und derselben Zeit auf sehr verschiedenen Stufen der Ausbildung befinden kann. Von der verschiedenen Ausbildung der parelektronomischen Schicht also an den Muskeln des Armes und des Beines kann man die Ueberlegenheit des Stromes bald der ersteren, bald der letzteren Gliedmaſse füglich ableiten.

Digitized by Google

Diese Erklärung scheint freilich auf den Fall nicht zu passen, wo sich die Richtung des Stromes zwischen Hand und Fuſs im Lauf einer nicht allzulangen Versuchsreihe umkehrt, um so weniger, als diese Umkehr stets den im Bein aufsteigenden Strom betrifft, während man den im Bein absteigenden Strom seine Richtung nicht dergestalt wechseln sieht. Indessen wissen wir leider so wenig von den Bedingungen der Ausbildung und Rückbildung der parelektronomischen Schicht, daſs dies noch kein Grund sein würde, die Zulässigkeit der obigen Deutung zu bezweifeln. Von der Langsamkeit insbesondere, mit der bei kaltblütigen Thieren, wie den Fröschen, die parelektronomische Schicht ihren Zustand verändert, auf eine gleiche Trägheit des Wechsels auch in warmblütigen Thieren zu schlieſsen, möchte schwerlich gerechtfertigt sein.

In derselben Art läſst sich das Verhalten des Stromes zwischen Brust und Elbogen beurtheilen.

Allein andere Betrachtungen stellen sich ein, wonach es noch ganz zweifelhaft erscheint, ob die Ströme, die wir hier vor Augen haben, wirklich der Muskelstrom sind. Erstlich ist zu bemerken, daſs zwar die beständige Kraft, nicht aber Richtung und Stärke eines Stromes, ein Erkennungsmerkmal für den Muskelstrom abgeben können. Wer den im dritten Kapitel dieser Untersuchung mitgetheilten Erörterungen gefolgt ist, sieht ohne weiteres ein, wie durchaus keine Nothwendigkeit da ist, daſs der Muskelstrom an den Gliedmaſsen des menschlichen Körpers dieselbe Richtung habe, wie an den Froschgliedmaſsen. Nicht einmal, daſs überhaupt ein Strom vorhanden sei, ist nothwendig, und zwar ganz abgesehen von dem Zustande der parelektronomischen Schicht, der Nebenschlieſsung durch die Lederhaut und dem Widerstande der Oberhaut (Vergl. oben S. 187). In jeder Richtung an jeder einzelnen Abtheilung einer Gliedmaſse, und, unterhalb einer gewissen Grenze, in jeder denkbaren Stärke, mit Inbegriff der Null, kann der Strom vorhanden sein. Es will also gar nichts sagen, wenn man an den Gliedmaſsen einen Strom vorfindet in beständiger, und zwar aufsteigender Richtung, und von einer Stärke unter jener Grenze. Dieser Strom kann freilich der Muskelstrom sein, aber der Beweis dafür muſs noch geführt werden. So lange dieser Beweis nicht geführt ist, kann jener Strom mit ganz demselben Rechte für einen Strom der Art genommen werden, wie sie sich am nicht enthäuteten Frosch bei Anwendung von Wasser als Zuleitungsflüssigkeit gleichfalls in beständiger Richtung und Gröſse zeigen, und doch sicherlich nichts sind, als bloſse Hautströme, da man sie auch noch an der abgetrennten Haut beobachten kann.

Um zu ermitteln, ob wir es hier nur mit einem solchen Hautstrom,

Digitized by Google

oder wirklich mit dem Muskelstrom zu thun haben, stehen uns zwei Wege offen.

Der eine besteht darin, zu untersuchen, wie sich jene Ströme bei der Zusammenziehung verhalten. Sind sie einerlei mit dem Muskelstrom, so müssen sie bei der Zusammenziehung eine negative Schwankung von angemessener Gröfse erleiden. Sollte also diese Schwankung sehr klein sein, oder ganz vermifst werden, oder gar im entgegengesetzten, d. h. im positiven Sinne auftreten, so können die Ströme im Wesentlichen der Muskelstrom nicht sein. Im ersten und im letzten Falle würde nur zu schliefsen sein, dafs diese Ströme einen Antheil in sich bergen, der von den Muskeln ausgeht und ihnen beziehlich entweder gleich oder entgegengesetzt gerichtet ist.

Der zweite Weg besteht darin, dafs wir jene Ströme bei Anwendung verschiedener Zuleitungsflüssigkeiten untersuchen. Bleiben alsdann diese Ströme stets sich selber gleich, bis auf Unterschiede, die füglich durch den ungleichen Widerstand der verschiedenen Kreise zu erklären sind, so können diese Ströme der Muskelstrom sein. Sie brauchen es darum noch nicht nothwendig zu sein, da uns z. B. die Ungleichzeitigkeitsströme an der Haut des Frosches ein Beispiel von Hautströmen gegeben haben, die in jeder Art von Zuleitungsflüssigkeit einerlei Richtung behalten. Verändern aber jene Ströme in Zuleitungsflüssigkeiten ihre Richtung, oder auch ihre Stärke auf eine Art, die sich nicht blos aus einer Widerstandsveränderung ableiten läfst, so ist es klar, dafs sie nicht der Muskelstrom sein können.

Den erstangegebenen Weg zur Entscheidung werden wir später betreten. Die Versuche, die er erfordert, sind, wie man sieht, einerlei mit denen, zu welchen wir ohnehin gedrängt werden durch den Wunsch, die negative Schwankung des Muskelstromes bei der Zusammenziehung am lebenden menschlichen Körper sichtbar zu machen. Hingegen auf den zweiten Weg wollen wir uns sogleich begeben. Wir erforschen also jetzt die im Vorigen beschriebenen Ströme bei Anwendung verschiedener Zuleitungsflüssigkeiten, wobei dieselben Bemerkungen gelten, die bereits oben S. 222 gemacht worden sind.

(III) Versuche mit verdünnter Schwefelsäure als Zuleitungsflüssigkeit.

Mit Ausnahme einiger unwesentlichen Punkte, nämlich der Versuche mit Ableitung des Stromes von der Haut durch Bäusche, der Versuche mit Klebäther, der mit Brustgefäfs und Elbogen, mit Hand und Knie, endlich mit Fufs und Elbogen, habe ich die ganze vorige

Digitized by Google

Versuchsreihe mit der verdünnten Schwefelsäure von 1.061 Dichte statt mit Kochsalzlösung als Zuleitungsflüssigkeit durchgemacht.

Gleich im Anfang stiefs ich auf eine wesentliche Abweichung der Erscheinungen von denen, wie sie sich in der Kochsalzlösung darstellen. Es verhielt sich nämlich in der Säure die Handsohle nicht negativ, sondern im Gegentheil positiv gegen den Handrücken. Damit ist also der Strom von der Handsohle zum Handrücken entschieden als ein blofser Hautstrom bezeichnet. Auch hatten wir ihn kaum für etwas anderes genommen, da nicht einzusehen ist, woher ein so starker Muskelstrom durch die Dicke der Hand rühren sollte (S. oben S. 233). Da sich uns aber sonst bisher gar kein Grund dargeboten hat, diesen Strom als seiner Natur nach verschieden anzusehen von den übrigen Strömen, welche hier in Rede stehen, so erwartete ich jetzt mit Bestimmtheit, auch diese in der verdünnten Schwefelsäure ihre Richtung umkehren zu sehen.

Allein dies war nicht der Fall. Zwar erhielt ich zu Anfang mancher Versuchsreihen zwischen Elbogen einerseits und Handsohle oder ganzer Hand andererseits, statt eines aufsteigenden Stromes, einen absteigenden Strom im Unterarm. Aber bald schlug der Strom in den aufsteigenden um, und so verhielten sich auch Hand und Fufs aufs heftigste negativ gegen das Brustgefäfs. Zwischen Hand und Fufs war der Strom im Bein absteigend.

Es hat demnach jetzt den Anschein, als wenn es uns gelungen wäre, mit Hülfe der verdünnten Schwefelsäure als Zuleitungsflüssigkeit zwei verschiedene Arten von Wirkungen von einander zu trennen, von denen die eine entschieden nur der Haut angehört, die andere hingegen noch als mit dem Muskelstrom einerlei angesehen werden kann. Die erste würde nicht allein zwischen Handsohle und Handrücken stattfinden, sondern sich auch noch zwischen Handsohle und Elbogen zu dem hier aus anderen Gründen bereits vorhandenen aufsteigenden Strom algebraïsch summiren, in Kochsalzlösung hinzufügen, in verdünnter Säure abziehen. In dieser würde sie zuerst den aufsteigenden Strom überwiegen, in einem späteren Zeitraum des Versuches ihm unterliegen.

(IV) Versuche mit Brunnenwasser als Zuleitungsflüssigkeit.

Sämmtliche Versuche, die ich mit der verdünnten Säure als Zuleitungsflüssigkeit angestellt habe, wurden auch mit Brunnenwasser als solcher wiederholt. Hier verhielt sich der Handrücken wieder positiv gegen die Handsohle; Handrücken, Handsohle und ganze Hand negativ gegen das Brustgefäfs, alles wie in der Kochsalzlösung. Die Stärke der Ströme war geringer als in der Kochsalzlösung und der

Digitized by Google

Säure, wie natürlich, wegen der geringeren Leitungsfähigkeit. Als ich aber nun Hand und Fufs miteinander prüfte, stiefs ich auf eine merkwürdige Abweichung. Es zeigte sich nämlich, dafs die im Bein aufsteigende Richtung des Stromes zwischen Hand und Fufs, die in der Salzlösung nur ausnahmsweise beobachtet wurde, und auch dann meist sehr bald der absteigenden Richtung wich, hier vielmehr die Regel ist. Um diesen, wie man leicht begreift, nicht unwichtigen Unterschied in der Erscheinungsweise der Ströme in beiden Flüssigkeiten ganz sicher zu stellen, verfuhr ich folgendermafsen.

Das eine Handgefäfs und Fufsgefäfs wurde mit gesättigter Kochsalzlösung, das andere Handgefäfs und Fufsgefäfs mit Brunnenwasser gefüllt, beide Gefäfspaare in der oben S. 236 beschriebenen Art nebeneinander aufgestellt. In jedes Gefäfs hing mit Hülfe eines MAGNUS'schen Halters, in der oben S. 219. 220 angegebenen Weise, ein Paar Zuleitungsplatten, gleich denen meiner Zuleitungsgefäfse herab. Die Platten in dem Brunnenwasser standen mit den Gefäfsen α und β, die in der Lösung mit den Gefäfsen A und B, die Multiplicatorenden endlich mit den Gefäfsen a und b des POHL'schen Stromwenders in Verbindung, dessen Kreuz ausgenommen war (S. oben Bd. I. S. 426. Bd. II. Taf. III. Fig. 108). Durch blofses Umlegen der Wippe konnte ich also abwechselnd die Gefäfse mit Wasser und die mit Salzlösung mit dem Multiplicator verknüpfen. Während dies für die einen Gefäfse der Fall war, wurden die anderen Gefäfse durch einen Kupferbügel zum Kreise geschlossen, den ich am Stromwender beziehlich zwischen α und β, und A und B anbrachte.

So konnte ich mit der gröfsten Bequemlichkeit die Richtung des Stromes zwischen Hand und Fufs bald in der Lösung, bald im Wasser untersuchen. Ich fand in dicht aufeinanderfolgenden Versuchen in der Lösung stets die im Bein absteigende, im Wasser stets die im Bein aufsteigende Strömungsrichtung vor.

Dies ist, wie ich nicht erst zu bemerken brauche, ein Unterschied, der sich nicht durch Ungleichheit des Widerstandes erklären läfst. Eben so wenig ist es denkbar, dafs die parelektronomische Schicht an den Muskeln der Arme und Beine sich im Lauf derselben Versuchsreihe mehrmals so verändere, dafs jedesmal, wenn mit Salzlösung versucht wird, der Muskelstrom des Armes, wenn mit Brunnenwasser, der des Beines die Oberhand erlangen sollte. Die oben S. 237. 238 ergriffene Ausflucht ist also hier nicht mehr möglich. Mit dem Muskelstrom können wir es in dem Strome zwischen Hand und Fufs der Hauptsache nach füglich nicht zu thun haben. Ein Theil der Wirkung mag immerhin auf Rechnung des Muskelstromes kommen. Aber er ist im Versuch nicht auszuscheiden. Im Wesentlichen ist jener Strom ein Hautstrom, die ihm zu Grunde

Digitized by Google

liegende elektromotorische Kraft ist bedingt durch die Benetzung der Haut mit den Zuleitungsflüssigkeiten.

(v) Versuche mit Kalihydratlösung.

In der Kalihydratlösung (S. oben S. 224) habe ich nur folgende Hautstellen miteinander geprüft: Handsohle mit Handrücken, Hand mit Elbogen, Hand oder Fufs mit Brust. Die Zuleitung geschah in der oben S. 225 angegebenen Art, d. h. die Platinenden des Multiplicators tauchten nicht unmittelbar in die Gefäfse mit Kalilauge, sondern in die gewöhnlichen, mit gesättigter Kochsalzlösung gefüllten Zuleitungsgefäfse, und diese standen durch heberförmige Röhren in Verbindung mit den, die Kalilauge enthaltenden, zum Eintauchen bestimmten Gefäfsen.

Ueber das Verhalten von Handsohle und Handrücken bin ich nicht ganz klar geworden. Manchmal zeigte sich ein Strom in der Richtung wie in Kochsalzlösung und Brunnenwasser, d. h. die Handsohle war negativ gegen den Handrücken. Andere Male hatte der Strom dieselbe Richtung, gleichviel, welche Hand die Lauge mit der Sohle, und welche mit dem Rücken berührte.

Zwischen Hand und Elbogen habe ich mit hinreichender Sicherheit folgendes beobachtet. Die Hand verhielt sich zu Anfang stark negativ gegen den Elbogen. In einigen Fällen zeigte auch der Strom eine ziemliche Beständigkeit, so dafs die Erscheinung fast ganz so war wie in Kochsalzlösung und Brunnenwasser. Allein in anderen Fällen nahm diese elektromotorische Kraft bald sehr ab, so dafs die Nadel sich dem Nullpunkt nahe einstellte, und nur sehr schwache Ladungen hinterblieben. Endlich in noch anderen Fällen geschah dies Sinken der Kraft sogar so schnell, dafs der erste Ausschlag auf dem Fufse gefolgt ward von einem Ausschlag im Sinne der Ladungen, der die Nadel an die entgegengesetzte Hemmung führte. Darauf kam die Nadel auf Null zurück, Ladungen fehlten entweder ganz, oder sie hatten bei grofser Schwäche die entgegengesetzte Richtung von der gebührenden, d. h. sie waren dem ersten Ausschlag gleich gerichtet.

Dadurch ist offenbar nun auch der Strom zwischen Hand und Elbogen, dessen Erscheinungsweise in der Kochsalzlösung uns zuerst glauben machte, wir hätten den Muskelstrom am lebenden unversehrten Körper nachgewiesen, auf einen blofsen Hautstrom zurückgeführt. Ich versuchte daher schliefslich auch noch den Strom von Hand oder Fufs zur Brust mit Kalilauge als Zuleitungsflüssigkeit zu beobachten, in der Erwartung, dafs auch dieser irgend eine Aenderung seiner Erscheinungsweise erleiden würde, wodurch er als Hautstrom bezeichnet würde. Indessen gelang dies nicht. Der Strom von Hand oder Fufs zur Brust

Digitized by Google

erschien in derselben Richtung, wie in den anderen drei Zuleitungsflüssigkeiten, und obschon ich die Versuche so lange fortsetzte, dafs ich an der zarten Haut der Brust zahlreiche kleine Brandschorfe davontrug, wollte der Strom doch nicht in auffallender Weise an Gröfse verlieren, geschweige Null werden oder sich umkehren, wie der Strom zwischen Hand und Elbogen.

(VI) Fortgesetzte Erörterung der in Rede stehenden Versuche.

Die Ströme von Hand oder Fufs zur Brust haben in allen Zuleitungsflüssigkeiten, in denen sie untersucht worden sind, dieselbe Richtung gezeigt, ohne dabei andere Unterschiede ihrer Stärke wahrnehmen zu lassen, als solche, die auf entsprechende Unterschiede des Widerstandes gedeutet werden können. Sie haben somit die eine der beiden Proben bestanden, durch die es uns oben S. 239 thunlich schien, darüber zu entscheiden, ob die beständigen Ströme an den Gliedmafsen des lebenden menschlichen Körpers aus den Muskeln stammen oder nicht. Nicht entfernterweise ist aber dadurch bereits bewiesen, dafs diese Ströme wirklich der Muskelstrom seien. Jene erste Probe ist, wie auch daselbst sogleich bemerkt wurde, nur der Art, dafs zwar ein Strom sie bestehen mufs, um für den Muskelstrom gelten zu können, dafs aber darum noch nicht jeder Strom, der sie besteht, auch nothwendig der Muskelstrom ist. Vielmehr steht die Sache folgendermafsen.

Zunächst ist klar, dafs, gleichviel ob zwischen Hand oder Fufs und Brust der Muskelstrom wahrnehmbar sei oder nicht, zwischen den genannten Hautstellen auch Hautströme herrschen müssen. Nach den Erfahrungen, die uns jetzt vorliegen, ist es undenkbar, dafs die Haut an der Hand und dem Fufs sich sollte gleichartig verhalten mit der Haut an der Brust. Auf alle Fälle könnte die letztere Hautstelle sich nur gleichartig verhalten entweder mit der Hand, oder mit dem Fufs, weil nämlich Hand und Fufs untereinander ungleichartig sind. Im ersten Falle also müfste doch immer zwischen Fufs und Brust, im zweiten zwischen Hand und Brust, ein Strom herrschen in derselben Richtung, wie zwischen Fufs und Hand. Viel annehmbarer aber scheint es, sich zu denken, dafs Fufs und Hand sich beide, nur mit verschiedener Stärke, negativ verhalten gegen die Brust, wie sie dies ja auch gegen Elbogen und Knie thun. Die elektromotorische Kraft, die dem Strom zwischen Hand und Fufs zu Grunde liegt, würde dann gleich sein dem Unterschiede der elektromotorischen Kräfte, welche den Strömen von der Hand zur Brust und vom Fufs zur Brust zu Grunde liegen. Dafs der Strom zwischen Hand und Fufs uns dennoch eben so stark, ja manchmal stärker erschienen ist, als der von Fufs oder Hand zur Brust, erklärt sich

Digitized by Google

aus dem gröfseren Widerstande, den die benetzte Hautstelle an der Brust, im Vergleich zur Haut des Fufses oder der Hand, dem Strome darbietet (S. oben S. 197), Und dafs, z. B. bei negativem Verhalten des Fufses gegen die Hand, uns der Strom vom Fufs zur Brust nicht, wie es der Fall sein müfste, schwächer erschienen ist als der von der Hand zur Brust, rührt daher, dafs die Natur der Versuche hier überhaupt gar keine Vergleichung von Stromstärken zuläfst, wenn es sich nicht um ganz ungeheure Unterschiede handelt.

Man kann folglich, ohne den Thatsachen irgend welchen Zwang anzuthun, die Ströme zwischen Hand oder Fufs und Brust zurückführen auf bloſse Hautströme. Diese Deutung ist um so wahrscheinlicher, als andere Ströme von ganz ähnlicher Erscheinungsweise, die wir auch anfangs geneigt waren für den Muskelstrom zu halten, wie der Strom zwischen Hand und Elbogen, sich zuletzt in Hautströme aufgelöst haben. Ferner ist noch zu erwägen, wie keinesweges mit aller Sicherheit zu behaupten ist, dafs nicht unter Umständen auch der Strom von Hand oder Fufs zur Brust in Kalilauge verschwinde. Beobachtet ist es freilich nicht. Aber auch der Strom zwischen Hand und Elbogen hielt manchmal der längsten Benetzung mit der Lauge Stich, und bei der grofsen Unannehmlichkeit der Versuche mit dieser Flüssigkeit, namentlich bei Anwendung des Brustgefäfses, habe ich die Versuchsreihen doch vielleicht nicht hinlänglich vervielfältigt, um auf diese Erscheinungsweise zu stofsen, die sich mir bei zahlreicheren Versuchen möglicherweise zuletzt noch dargeboten hätte. So gelangt man also auf diesem Wege zu der Vorstellung, dafs eigentlich jeder Grund mangelt, die Ströme von Hand und Fufs zur Brust nicht auch für bloſse Hautströme anzusehen, in denen höchstens, wie in den anderen Hautströmen auch, ein gröferer oder geringerer Bruchtheil verborgen sein mag, der aus den Muskeln entspringt.

Auf der anderen Seite könnte man der Meinung, die fraglichen Ströme seien der Muskelstrom, dadurch zu Hülfe zu kommen suchen, dafs man die Bedeutung der Versuchsreihe in verschiedenen Zuleitungsflüssigkeiten überhaupt in Frage stellte. Man könnte nämlich muthmafsen, dafs die verschiedene Erscheinungsweise der Ströme in den verschiedenen Flüssigkeiten nicht davon herrühre, dafs die elektromotorische Kraft dieser Ströme selbst eine Aenderung erleide. Sondern während diese Ströme, die in der That nichts anderes seien, als der Muskelstrom, an und für sich beständig blieben, entwickelten sich an der Grenze der Haut und der Zuleitungsflüssigkeiten elektromotorische Kräfte, welche denen jener Ströme das Gleichgewicht hielten oder gar sie überwögen, und dadurch die Erscheinungsweise der Ströme von der Natur der Zuleitungsflüssigkeit abhängig erscheinen liefsen.

Digitized by Google

Diese Vermuthung ist zwar aus der Luft gegriffen; um so schwieriger ist es, sie zu widerlegen. Mit Hülfe der bisherigen Thatsachen gelingt dies nicht. Indessen wird eine spätere Folge hier sichere Entscheidung bringen. Aus den Versuchen, um die negative Schwankung des Muskelstromes bei der Zusammenziehung am lebenden unversehrten Menschen nachzuweisen, wird sich ergeben, dafs von allen hier beschriebenen Strömen kein einziger die zweite Probe besteht, durch welche er sich als Muskelstrom zu beurkunden hätte (Vergl. oben S. 239). Kein einziger von allen diesen Strömen unterliegt nämlich bei der Zusammenziehung einer verhältnifsmäfsigen negativen Schwankung, wie es der Fall sein müfste, sollte er der Muskelstrom sein. Alle diese Ströme, auch die von Hand und Fufs zur Brust, sind also im Wesentlichen wirklich nur Hautströme, und die Beobachtung des ruhenden Muskelstromes an den Gliedmafsen des lebenden menschlichen Körpers ist nicht verstattet.

Nachdem wir auf diese Art, durch Vorwegnahme eines erst später zu erweisenden Hülfssatzes, zur Entscheidung gelangt sind hinsichtlich der Natur der hier in Rede stehenden Ströme, die wir fortan, mit Bezug auf ihre Erscheinungsweise in der Kochsalzlösung, und im Gegensatz zu den Ungleichzeitigkeitsströmen, die beständigen Hautströme nennen werden, wollen wir nunmehr zusehen, wie weit es uns gelingen mag, uns auf Grund der vorliegenden Erfahrungen eine Vorstellung zu bilden über den Zusammenhang der elektromotorischen Erscheinungen, zu denen die Haut in Berührung mit den Zuleitungsflüssigkeiten Anlafs giebt.

Zuerst ist die Vermuthung zu beseitigen, auf die Einer oder der Andere gerathen könnte, dafs die beständigen Hautströme auf Temperaturunterschieden der Haut der verschiedenen Körpertheile beruhen.

Aus der Richtung der Ströme läfst sich kein Grund weder für noch wider diese Vermuthung entnehmen. Dazu kennen wir nicht genau genug die Temperatur, bei der die elektromotorische Kraft der Thermoströme ihr Zeichen wechselt (Vergl. oben S. 211). Allein erstens sind gar keine solche Temperaturunterschiede der Körperoberfläche bekannt, ausgenommen wo eine örtliche Abkühlung durch die Luft und die Verdunstung sie bedingt. Davon kann hier nicht die Rede sein, wo die Hautstellen in Flüssigkeitsmassen von gleicher Temperatur dauernd versenkt werden. Auch sind die beständigen Hautströme viel zu stark, um diese Deutung zuzulassen. Innerhalb der Gegend der Thermometertheilung, wo unsere Versuche sich bewegt haben, entspricht einem Temperaturunterschiede der Hautstellen um mehrere Grade noch keine merkliche elektromotorische Kraft. Und höchstens um Zehntel-Grade könnte

Digitized by Google

es sich doch hier handeln, wo wir Ströme beobachtet haben, die die Nadel dauernd auf 70—80° Ablenkung hielten. Man könnte einwenden, dafs dafür auch der Widerstand in unseren jetzigen Kreisen ein viel kleinerer gewesen sei, als bei den Versuchen über die Thermoströme. Im Allgemeinen ist dies richtig. Allein die beständigen Ströme behaupten ihre Ueberlegenheit über die Thermoströme doch auch in Fällen, wo der Unterschied des Widerstandes kaum noch in Betracht kommen kann. Solche Fälle sind der, wo man den Strom von Handsohle und Handrücken, Fufssohle und Fufsrücken durch Bäusche ableitet, ferner den Strom des Unterarmes von Elbogen und Finger.

Zu diesen theoretischen Gründen habe ich nicht unterlassen wollen, noch den thatsächlichen Beweis hinzuzufügen. Ich habe nämlich den Strom zwischen Handsohle und Handrücken, zwischen Hand und Elbogen, zwischen Hand oder Fufs und Brust in Kochsalzlösung auch in der Art beobachtet, dafs ich abwechselnd der Lösung in dem einen Gefäfs die Temperaturen von 15° und 30° ertheilte, während die Lösung in dem anderen Gefäfse beziehlich die von 30° und 15° erhielt. Ich konnte aber keinen Unterschied der Erscheinungsweise der beständigen Hautströme unter diesen Umständen auffassen, wodurch sie sich ausgezeichnet hätte vor der bei gleicher und mittlerer Temperatur der Lösung in beiden Gefäfsen, es sei denn eine etwas gröfsere Stärke aller Wirkungen. Diese gröfsere Stärke rührte unstreitig davon her, dafs der Widerstand der Haut in der warmen Lösung vermindert war (Vergl. oben S. 212 ff.).

Es ist somit klar, dafs von einem thermoëlektrischen Ursprunge der zuletzt beschriebenen Ströme ebensowenig die Rede sein kann, als von einem solchen der Ungleichzeitigkeitsströme (S. oben S. 228). Es mufs folglich nach einer anderen Deutung der Erscheinungen gesucht werden. Und das vortheilhafteste wird sein, wenn diese Deutung sich nicht auf die letztbeschriebenen, in der Kochsalzlösung, dem Brunnenwasser, der verdünnten Säure verhältnifsmäfsig beständigen Ströme beschränkt, sondern zugleich die eben erinnerten Ungleichzeitigkeitsströme umfafst. Denn dafs die letzteren Ströme mit den ersteren in irgend einem wesentlichen Zusammenhang stehen, dafür scheint zu zeugen die wechselseitige Abhängigkeit der Richtung beider von einander, die wir in zwei Fällen beobachtet haben; einmal in den Versuchen mit der verdünnten Schwefelsäure, wo sowohl die Ungleichzeitigkeitsströme als der Strom zwischen Handsohle und Handrücken die umgekehrte Richtung zeigten von der in der Salzlösung und dem Brunnenwasser (S. oben S. 224. 240); das zweitemal in den Versuchen an den Leichenhänden, an deren einer die Ungleichzeitigkeitsströme und der Strom zwischen Hand-

Digitized by Google

sohle und Handrücken sich beide verhielten wie am Lebenden, an der anderen beide umgekehrt (S. oben S. 226. 232).

Es hält nicht schwer, eine allgemeine Vorstellungsweise zu ersinnen, welche von den beständigen Hautströmen und den Ungleichzeitigkeitsströmen als Wirkungen Einer Ursache Rechenschaft giebt. Man hat sich nur zu denken, dafs die Hautoberfläche, in Berührung mit den Zuleitungsflüssigkeiten, der Sitz einer elektromotorischen Wirkung ist, welche an verschiedenen Hautstellen verschiedene Gröfse hat, so sind die beständigen Hautströme erklärt, physikalisch ganz ebenso, wie sie oben S. 14 an der Haut des Frosches von uns erklärt wurden. Um aber zugleich einen Grund für die Ungleichzeitigkeitsströme zu haben, mufs man noch die Annahme hinzufügen, dafs jene elektromotorische Wirkung auch der Zeit nach keine ganz beständige ist, sondern vom Augenblick der Benetzung an bis zu einer gewissen Grenze der Zeit ihre Gröfse verändert.

Dafs sich auf diese Weise die Erscheinungen darstellen lassen, unterliegt keiner Frage. Man nehme z. B. an, in der Kochsalzlösung oder dem Brunnenwasser, um zunächst bei diesen Flüssigkeiten stehen zu bleiben, sei die elektromotorische Kraft von Aufsen nach Innen gerichtet, oder die Haut verhalte sich darin negativ, die Kraft sei aber an der Handsohle gröfser als am Handrücken, hier gröfser als am Fufs (bei im Bein absteigendem Strom zwischen Hand und Fufs), am Fufs gröfser als am Elbogen, dem Knie und der Brust, so sind die beständigen Hautströme erklärt, wie sie beobachtet sind. Man denke sich noch, dafs die Kraft mit der Dauer der Benetzung bis zu einer gewissen Grenze abnimmt, so folgen auch die Ungleichzeitigkeitsströme, gleichfalls wie sie beobachtet sind. Oder man nehme im Gegentheil an, die Kraft habe die Richtung von Innen nach Aufsen, d. h. die Haut verhalte sich in der Kochsalzlösung positiv. Alsdann braucht man nur in der obigen Reihe von Hautstellen jeder erstgenannten die kleinere, jeder folgenden die gröfsere Kraft zuzuschreiben, die Kraft aber mit der Dauer der Benetzung, statt abzunehmen, in Gedanken vielmehr bis zu einer gewissen Grenze zunehmen zu lassen, um die Erscheinungen gleichfalls genau dargestellt zu haben.

Wer im Gebiete des Galvanismus bewandert ist, wird hier leicht völlig den nämlichen Kreis von Beziehungen wiedererkennen, auf den Fechner bei der Erforschung des elektromotorischen Verhaltens der Metalle und der Flüssigkeiten geführt worden ist. Eine innere Verwandtschaft der Erscheinungen ist allerdings noch nicht zu behaupten. Die elektromotorische Kraft, die sich in der Berührung der Metalle und der Flüssigkeiten entfaltet, rührt, nach Fechner, wenn nicht ausschliefs-

Digitized by Google

lich, doch in den meisten Fällen zum gröfsten Theil davon her, dafs die Metalle durch die Flüssigkeiten eine Oberflächenveränderung erleiden, vermöge deren sie gleichsam in ein zusammengelöthetes Plattenpaar ungleichartiger Metalle verwandelt werden. Wir haben noch keinen Grund, die elektromotorische Wirkung in der Berührung der Haut mit den Zuleitungsflüssigkeiten auf Rechnung eines ähnlichen Vorganges zu bringen. Die Aehnlichkeit der Erscheinungen ist daher zunächst nur eine rein formelle. Aber so ist sie eine vollkommene, wie folgende Darlegung zeigen mag.

Die Grenze von Metallen und Flüssigkeiten, gleichviel ob diese eines chemischen Angriffes auf jene fähig sind, oder nicht, wird der Sitz einer elektromotorischen Kraft, deren Richtung im Allgemeinen von der Natur der Flüssigkeit, nicht aber des Metalles, abhängt. Diese Kraft ist es, auf der die Wirksamkeit der Ketten aus Einem Metall und mehreren Flüssigkeiten wesentlich beruht, wovon die Becquerel'sche Säure-Alkali-Kette ein Beispiel abgiebt, in der die Berührung zwischen der Salpetersäure und dem Kali nur einen sehr geringen Theil der Gesammtwirkung liefert. Jene elektromotorische Kraft an der Grenze der Metalle und Flüssigkeiten ist nicht unabhängig von der Zeit. Sondern in manchen Fällen wächst sie vom Augenblick der Benetzung an bis zu einer gewissen Grenze. In anderen nimmt sie umgekehrt von diesem Augenblick bis zu einer gewissen Grenze ab. Dadurch entstehen beim folgweisen Eintauchen zweier scheinbar gleichartigen Metallstücke die bekannten Ungleichzeitigkeitsströme der Metalle (S. oben Bd. I. S. 210). Die Richtung dieser Ströme wird nicht allein bestimmt durch die Richtung der elektromotorischen Wirkung an der Grenze von Metall und Flüssigkeit, sondern zugleich durch den Verlauf dieser Wirkung in der Zeit vom Augenblick der Benetzung an. Sie kann daher dieselbe sein für dasselbe Metall in zwei Flüssigkeiten, in Berührung mit denen das Metall in verschiedener Richtung elektromotorisch wirkt, wofern nur die Kraft in der einen Flüssigkeit eine abnehmende, in der anderen eine zunehmende ist. Z. B. in Salpetersäure und Kalihydratlösung verhält sich späterbenetztes Platin in gleicher Weise positiv zu früher eingetauchtem. Doch ist die Kraft aus der Säure in's Platin, aus dem Platin in die Lauge gerichtet. Allein in der Säure ist die Kraft anfänglich noch im Wachsen, in der Lauge ist sie im Sinken begriffen.[1]

[1] Vergl. Fechner in seinem Lehrbuch des Galvanismus und der Elektrochemie. Leipzig 1829. S. 93;* — in Poggendorff's Annalen u. s. w. 1837. Bd. XLII. S. 499;* — 1838. Bd. XLIII. S. 438;* — Bd. XLV. S. 245;* — 1839. Bd. XLVI. S. 1;* — Bd. XLVIII. S. 1. 225.* — S. auch noch H. Schröder ebendas. 1841. Bd. LIV. S. 57.*

Digitized by Google

Die Frage, zu deren Beantwortung wir uns jetzt zunächst getrieben fühlen, ist natürlich die nach der Richtung, in der denn nun die Haut in den Zuleitungsflüssigkeiten, z. B. der Kochsalzlösung, als der gangbarsten unter denselben, wirklich elektromotorisch thätig ist; oder mit anderen Worten, welche von den beiden oben S. 247 hier als möglich erkannten Vorstellungsweisen die richtige sei. Bei den Metallen hat das Bestimmen der Richtung, in der sie mit einer gegebenen Flüssigkeit elektromotorisch wirken, keine andere Schwierigkeit, als die überall mit der Handhabung eines empfindlichen condensirenden Elektroskops verknüpft ist. An die Anwendung dieses Verfahrens ist hier begreiflich nicht zu denken. Wenn es uns nicht gelingt, aus Versuchen mit geschlossener Kette am Multiplicator die Richtung der Kraft zu entnehmen, mufs auf diese Bestimmung verzichtet werden. Es läfst sich aber ganz allgemein zeigen, dafs die Lösung der Aufgabe nur möglich ist unter Voraussetzungen, die schwerlich genehmigt werden können.

Es heifsen k, k_1 die Kräfte zweier Hautstellen A und B, und der dazu symmetrisch gelegenen, A_1, B_1, im ersten Augenblicke der Benetzung. Der Strom gehe im Körper von A zu B, und diese Richtung, wo also der Strom bei A aus der Flüssigkeit in die Haut, bei B aus der Haut in die Flüssigkeit tritt, wollen wir als die positive ansehen. n, n_1 seien die Coëfficienten, welche die Veränderung der Kräfte k, k_1 nach einer Dauer der Benetzung t ausdrücken. Mit W_1, W_2, W_3...., sei der jedesmalige Widerstand des Kreises, endlich mit α, β, γ, ... die jedesmalige Stromstärke bezeichnet. Es soll das Zeichen und die Gröfse von k, k_1 gefunden werden; aufser k und k_1 sind aber noch n, n_1 unbekannt.

Unsere bisherige Beobachtungen lassen sich alsdann durch folgende drei Gleichungen ausdrücken. Erstens die Gleichung der beständigen Hautströme $W_1\alpha = k - k_1$..... (I).

Zweitens die Gleichungen der Ungleichzeitigkeitsströme, deren vier sind, die sich zu zweien nur durch das Vorzeichen ihrer rechten und linken Seite von einander unterscheiden. Beim ungleichzeitigen Eintauchen von A, A_1 erhält man, wenn man A zuletzt eintaucht,

$$W_2\beta = k(1-n) \text{.....} \quad \text{(II)},$$

wenn man A_1 zuletzt eintaucht,

$$-W_2\beta = -k(1-n).$$

Beim ungleichzeitigen Eintauchen von B, B_1 erhält man, wenn man B zuletzt eintaucht, $-W_3\gamma = -k_1(1-n_1)$,

wenn man B_1 zuletzt eintaucht,

$$W_3\gamma = k_1(1-n_1) \text{.....} \quad \text{(III)}.$$

Dabei hat man sich zu denken, dafs A und B stets mit demselben

Digitized by Google

Multiplicatorende verknüpft bleiben, so dafs, wenn A, A_1, B, B_1 zum Kreise geschlossen werden, A_1 die Stelle von B, B_1 die von A einnimmt. Unter jenen vier Gleichungen der Ungleichzeitigkeitsströme geben wir natürlich den Vorzug den mit II und III bezeichneten, deren linke Seite mit der der Gleichung I einerlei Vorzeichen hat.

Mit den Gleichungen I, II, III läfst sich, wie man sieht, nichts anfangen, da sie zu dreien vier Unbekannte enthalten. Eine der Gleichungen der Ungleichzeitigkeitsströme mit der der beständigen Hautströme zusammen enthält drei Unbekannte auf zwei Gleichungen, und die Aufgabe erscheint somit unbestimmt. Dies ist beiläufig der schärfere Ausdruck von dem, was oben S. 247 gesagt wurde, dafs sich nämlich über die Richtung der Kraft an der Grenze von Haut und Flüssigkeit, über die Rangordnung der Hautstellen nach der Gröfse der Kraft, und über den zeitlichen Verlauf der Kraft während der Dauer der Benetzung zwei entgegengesetzte Muthmafsungen mit gleichem Recht aufstellen lassen.

Es hält nun zwar nicht schwer, neue Gleichungen zwischen denselben Unbekannten aufzustellen. Taucht man die Hautstelle A die Zeit t nach der B ein, dann diese dieselbe Zeit nach jener, etwa wie wir dies oben S. 237 mit Hand und Fufs gethan haben, so erhält man

$$W_4 \delta = nk - k_1, \ldots\ldots \text{(IV)}$$

$$W_5 \varepsilon = k - n_1 k_1. \ldots\ldots \text{(V)}$$

Taucht man ferner beide Hautstellen die Zeit t über in zwei nicht in leitender Verbindung stehende Flüssigkeitsmassen ein und beobachtet erst dann die Stromstärke, so hat man auch noch

$$W_6 \zeta = nk - n_1 k_1, \ldots\ldots \text{(VI)}$$

und somit sogar sechs Gleichungen mit nur vier Unbekannten, so dafs die Möglichkeit der Elimination gesichert erscheint.

Allein man sieht leicht, dafs durch die drei letzten Gleichungen keine neue Beziehungen zwischen den Unbekannten aufgedeckt werden. Gleichung IV erhält man, indem man II von I abzieht. Gleichung V, indem man III zu I hinzufügt. Endlich Gleichung VI entspricht der algebraïschen Summe I + III − II. Die Elimination gelingt also nicht, und es giebt meines Wissens keinen Versuch, der geeignet wäre, eine wahrhaft neue vierte Gleichung zwischen den vier Unbekannten zu den drei ersten hinzuzugesellen. Die Aufgabe bleibt also unbestimmt selbst in dem Fall, den wir hier stillschweigend vorausgesetzt haben, dafs die Widerstände und Stromstärken genau beobachtet wären.

Anders stellen sich die Aussichten, wenn man sich die Annahme erlaubt, dafs $n = n_1$ sei, oder mit anderen Worten, dafs die Kraft an beiden Hautstellen sich proportional verändere. Alsdann reichen die drei ersten Gleichungen zur Bestimmung der Unbekannten k, k_1, n aus

Digitized by Google

und auch die übrigen Gleichungen bieten Mittel zur Elimination dar, die zwar vom analytischen Gesichtspunkt aus überflüssig erscheinen, hier jedoch wohl Beachtung verdienen, insofern sich darunter solche finden können, die mehr als andere geeignet sind, eine Anwendung im Versuch zuzulassen.

In der That ist zu bedenken, dafs bei unserer mangelhaften Kenntnifs der Stromstärken und Widerstände von einer wirklichen Ausführung der Rechnung nicht die Rede sein kann. Von den Stromstärken wissen wir nichts, als ob sie in dem einen Falle gröfser, im anderen kleiner sind. Von den Widerständen können wir eben auch nur ihre relative Gröfse aus Nebenumständen entnommen angeben. Es versteht sich danach, dafs, selbst unter der Voraussetzung $n = n_1$, die Lösung der Aufgabe unmöglich sein würde, wenn es sich für uns darum handelte, die Unbekannten wirklich numerisch zu bestimmen. So weit hinaus wollen wir indefs nicht. Alles, wonach wir streben, ist nur, das Zeichen der Kräfte zu ermitteln. Dazu reicht es aber aus, entweder das Zeichen des Unterschiedes $1-n$ kennen zu lernen, oder in Erfahrung zu bringen, welche von den beiden Kräften k und k_1 die gröfsere sei. Mit Hülfe der Gleichungen der Ungleichzeitigkeitsströme im ersten Falle, der der beständigen Hautströme im zweiten, läfst sich alsdann leicht das Zeichen von k, k_1 bestimmen. Dies erscheint nun, unter der Voraussetzung $n = n_1$, trotz der ausnehmend geringen Genauigkeit unserer Beobachtungen, allerdings ausführbar.

Wir wollen zunächst den Unterschied der Widerstände ganz aus dem Spiele lassen. Es wird zweckmäfsiger sein, ihn erst später, bei der Anwendung der allgemeinen Ergebnisse auf besondere Fälle, in Rechnung zu ziehen. Nehmen wir zunächst die Gleichungen I, II und III. Aus der Ungleichheit

$$W_2\beta \gtreqless W_3\gamma \text{ oder } k(1-n) \gtreqless k_1(1-n)$$

folgt

$$k \gtreqless k_1.$$

Mit anderen Worten, die Beobachtung der Ungleichzeitigkeitsströme erst mit den Hautstellen A, A_1, dann mit den B, B_1, bietet ein leichtes Mittel dar, über die relative Gröfse der Kraft an beiden Stellen zu entscheiden. Die Kraft ist gröfser an dem Stellenpaar, welches die stärkeren Ungleichzeitigkeitsströme liefert. Gleichung I liefert dann das gesuchte Zeichen der Kräfte. Nehmen wir zweitens die Gleichungen I und VI, und entweder II oder III dazu. Aus der Ungleichheit

$$W_1\alpha \gtreqless W_2\zeta \text{ oder } k-k_1 \gtreqless n(k-k_1)$$

folgt

$$1 \gtreqless n.$$

Wird also die Gröfse des beständigen Hautstromes zwischen A, A_1 und B, B_1 zuerst im Augenblick der Benetzung, sodann nachdem A, A_1, B, B_1

Digitized by Google

die Zeit t über eingetaucht waren, beobachtet, so erfährt man aus der relativen Gröſse beider Ausschläge, ob die Kräfte wachsen oder abnehmen, wonach sich das Zeichen der Kräfte aus den Gleichungen der Ungleichzeitigkeitsströme ergiebt.

Andere im Versuch anwendbare Combinationen der sechs Gleichungen weiſs ich nicht ausfindig zu machen. Es kann einen Augenblick scheinen, als könne man auch aus Gleichung iv und v das Zeichen des Unterschiedes $1-n$ ziehen. Denn die Ungleichheit

$$W_8\varepsilon \gtreqless W_4\delta \text{ oder } k-nk_1 \gtreqless nk-k_1 \ldots \text{(vii)}$$

giebt

$$k+k_1 \gtreqless n(k+k_1) \text{ oder } 1 \gtreqless n.$$

Setzt man aber k, k_1 negativ, so folgt

$$-1 \gtreqless -n, \text{ oder } n \gtreqless 1.$$

Das Ergebniſs ist also nicht eindeutig, sondern, wie auch die durch Subtraction der Gleichungen iv und v entstandene Gleichung

$$W_8\varepsilon - W_4\delta = (1-n)(k+k_1),$$

zeigt es nur eine nothwendige Beziehung an zwischen dem unbekannten Zeichen der Kräfte und dem gleichfalls unbekannten des Unterschiedes $1-n$. Der oben S. 237 mit Hand und Fuſs angestellte Versuch, in welchem sich die Ungleichzeitigkeitsströme mit dem beständigen Hautstrome verbinden, und dessen Ergebniſs, wenn A die Hand, B den Fuſs bedeutet, das obere Zeichen in der Ungleichheit vii entsprechen würde, ist folglich nicht geeignet, hier irgend einen Aufschluſs zu geben. Sehen wir zu, wie weit es gelingen mag, die Bedingungen im Versuch zu verwirklichen, die den beiden erstangegebenen Verfahrungsarten zu Grunde liegen.

Die Versuche, welche das erste Verfahren erfordert, haben wir bereits angestellt. Denn zwischen allen Hautstellen, die uns, bei ihrer Verbindung unter sich, die beständigen Hautströme geliefert haben, Brust, Knie und Fuſsrücken ausgenommen, sind auch die Ungleichzeitigkeitsströme von uns untersucht worden. Leider eignen sich die Ungleichzeitigkeitsströme zu einem Vergleich ihrer Stärke sehr wenig. Sie zeigen in dieser Beziehung so viele Unregelmäſsigkeiten, daſs auf kleinere Unterschiede, die sich etwa zwischen ihrer Stärke an den Händen, den Füſsen, den Elbogen kundgeben, so viel wie nichts zu geben ist, vollends wenn man noch den Einfluſs des verschiedenen Widerstandes in den verschiedenen Kreisen erwägt. Es würde also, um die obige Schluſsfolge anzuwenden, nur übrigbleiben der Vergleich der Ungleichzeitigkeitsströme zwischen den beiden Handsohlen einerseits, und den beiden Handrücken und Unterarmen andererseits. Die vollkommene Unregelmäſsigkeit der Ungleichzeitigkeitsströme an den letzteren Stellen kann man auf eine so geringe ihnen zu Grunde liegende elektrische Triebkraft deuten, daſs

Digitized by Google

mannigfaltige andere elektromotorische Ungleichartigkeiten sie gänzlich zu verdecken vermögen. Danach würde also der Handsohle die gröfsere, dem Fufsrücken und Unterarm die kleinere elektromotorische Kraft zukommen. Die Kraft würde folglich aus der Flüssigkeit in die Haut gerichtet sein.

Man erkennt aber bald, dafs wir hier einen ganz unsicheren Weg gegangen sind. In der That, wäre jener Schlufs richtig, so müfste folgerecht auch jede Hautstelle, welche sich gegen den Handrücken positiv verhält (S. oben S. 204 Anm.), die Ungleichzeitigkeitsströme vermissen lassen. Positiv gegen den Handrücken verhalten sich, abgesehen von der Brust, an der die Ungleichzeitigkeitsströme nicht untersucht sind, die Elbogen und unter Umständen die Füfse (S. oben S. 236). Elbogen und Füfse lassen aber, die ersteren wenigstens in Kochsalzlösung, die Ungleichzeitigkeitsströme auf's entschiedenste wahrnehmen. Es mufs also ein Fehler in unserer Schlufsfolge sein. Schwerlich ist er allein darin zu suchen, dafs, wie wir nicht in Betracht gezogen haben, der Widerstand der Haut am Handrücken vermuthlich gröfser ist als an der Handsohle, die von zahlreicheren Schweifscanälchen durchbohrt ist. Vielmehr liegt der Fehler wohl zum bei weitem gröfseren Theil darin, dafs wir willkürlich $n = n_1$ gesetzt haben. Die Handrücken lassen, aller Wahrscheinlichkeit nach, die Ungleichzeitigkeitsströme deshalb vermissen, weil die Kraft an denselben sich nicht so in der Zeit verändert, wie an der Hand- und Fufssohle.

Die erste der beiden Methoden, die wir zur Bestimmung der Richtung der Kraft gefunden hatten, ist somit fehlgeschlagen und zwar wegen der Mangelhaftigkeit ihrer Grundlage, die sie mit der anderen Methode gemein hat, so dafs auch die Zulässigkeit dieser bereits in Frage gestellt erscheint. Wir wollen indefs nicht unterlassen, auch noch die Versuche auszuführen, welche die zweite Methode verlangt. Es handelt sich darum, zu bestimmen, ob die Kraft des beständigen Stromes zwischen zwei gegebenen Stellen gröfser sei im ersten Augenblicke der Benetzung, oder nach Ablauf einer gewissen Zeit. Hier ist vorauszusehen, dafs die Veränderung des Widerstandes eine bedeutende Verwickelung des Versuches herbeiführen mufs. Es ist klar, dafs, wegen der vollkommneren Durchfeuchtung der Haut, bei längerer Dauer der Benetzung der Widerstand kleiner sein wird, als wenn die Hautstellen nur erst eben eingetaucht sind. Es scheint also, als ob nur in dem Fall, wo wir den Strom im ersten Augenblick stärker finden sollten, als nach längerer Benetzung, ein Schlufs auf eine Veränderung der Kraft, und zwar alsdann auf eine Abnahme derselben vom Augenblick der Benetzung an, gestattet sein würde. Im anderen Falle würde die Ver-

Digitized by Google

änderung der Stromstärke durch Veränderung der Kraft nicht zu unterscheiden sein von der durch Veränderung des Widerstandes. Auf die Gefahr hin, uns dergestalt vergeblich bemüht zu haben, mufs der Versuch angestellt werden.

Die Hautstellen, deren ich mich dazu bediente, waren Hand und Fufs, Hand und Elbogen, Handsohle und Handrücken. Zwischen Hand und Fufs war der Strom sogleich absteigend im Bein (S. oben S. 236). Neben den Gefäfsen a, b, in welche das Eintauchen geschah, dem Hand- und Fufsgefäfs im ersten, den beiden Handgefäfsen in den beiden letzten Fällen, wurden die Fingergefäfse, a_1, b_1, aufgestellt. Sie enthielten die Zuleitungsplatten des Multiplicators, und waren durch einen Bausch zum Kreise geschlossen. Eines derselben, a_1, stand aufserdem durch einen Bausch in Verbindung mit a. a und b waren also ursprünglich nicht zum Kreise geschlossen. Sie wurden es erst, und gleichzeitig wurde die Verbindung zwischen den Fingergefäfsen abgebrochen, nachdem die betreffenden Hautstellen darin eingetaucht waren. Dies geschah entweder sogleich nach dem Eintauchen, wenn nämlich die Stärke des Stromes im ersten Augenblick beobachtet werden sollte, oder nach Verlauf von zwei Minuten, wenn es sich um die Beobachtung der Stromstärke nach einiger Dauer der Benetzung handelte. Der Wechsel der Verbindungen geschah, indem ein Gehülfe den Schliefsungsbausch, der bis dahin die beiden Fingergefäfse zum Kreise geschlossen hatte, zwischen b_1 und b anbrachte. Der Multiplicator war der für den Muskelstrom, und einige Male mufste sogar mit der halben Länge desselben gearbeitet werden, damit die Ausschläge nicht in allzuhohe Breiten der Theilung reichten. Zwischen je zwei Versuchen wurden die Hautstellen mit Wasser abgespühlt und getrocknet.

Der Erfolg war anfangs, wie zu erwarten war, eine beträchtliche Ueberlegenheit des Stromes nach längerer Benetzung über den Strom nach nur augenblicklicher Dauer derselben. Indem aber die beiden Versuche abwechselnd mehreremal wiederholt wurden, zeigte sich eine merkwürdige Erscheinung. Der Ausschlag bei längerer Benetzung nahm nämlich von Versuch zu Versuch, jedoch immer langsamer, an Gröfse ab. Der Ausschlag bei kürzerer Benetzung dagegen nahm schnell an Gröfse zu, bis er eine Gröfse erlangt hatte, die der des Stromes bei längerer Benetzung zur selben Zeit entweder nahe kam, oder sie erreichte, oder gar sie übertraf. Das Letztere ist jedoch nur einmal, in einem Versuch mit Hand und Elbogen, beobachtet worden. Von hier ab fing die Stärke des Stromes bei kurzer Benetzung gleichfalls zu sinken an. Der Gang beider Stromstärken war fortan sehr übereinstimmend. In dem Fall, wo das Maximum des Stromes bei kurzer Benetzung

Digitized by Google

den Strom bei längerer Benetzung übertroffen hatte, blieb auch der erste Strom fortwährend über dem letzteren, so lange als die Beobachtung fortgesetzt wurde.

Aus diesen Versuchen ergiebt sich auf alle Fälle mit Gewifsheit, dafs die elektromotorische Kraft der beständigen Hautströme mit wachsender Dauer der Benetzung abnimmt.

Von hier aus lassen sich die einzelnen Erscheinungen folgendermafsen auslegen. Es ist klar, dafs der Widerstand des Kreises, vermöge der Durchfeuchtung der Oberhaut mit der Kochsalzlösung, nur bis zu einer gewissen Grenze abnehmen kann, und man wird leicht zugeben, dafs er um so langsamer abnimmt, je mehr er sich bereits dieser Grenze genähert hat. Dies vorausgesetzt, stelle ich mir vor, dafs in den Versuchen mit längerer Benetzung diese Grenze von Anfang an nahe erreicht wird. Die elektromotorische Kraft nimmt im Lauf eines jeden Versuches um eine gewisse Gröfse ab, und erholt sich dazwischen gar nicht oder nur unvollkommen. Man sieht daher, da der Widerstand derselbe bleibt, die Stromstärke von Versuch zu Versuch gleichfalls abnehmen. In den einzelnen Versuchen mit kurzer Benetzung hingegen bleibt der Widerstand von jener unteren Grenze anfangs weit entfernt. Daher zuerst die Ueberlegenheit der Stromstärke in den Versuchen mit längerer Benetzung, obschon die elektromotorische Kraft darin kleiner ist. Allein im Lauf der Versuche wird die Durchfeuchtung der Haut beständig. Auf den Gang der Stromstärke in den Versuchen mit längerer Benetzung übt dies keinen Einfluſs aus, weil hier von Anfang an in jedem einzelnen Versuch der Widerstand nahe so klein wurde, als er werden kann. Dagegen wächst die Stromstärke in den Versuchen mit kurzer Benetzung, weil der Widerstand von Versuch zu Versuch schneller abnimmt, als die elektromotorische Kraft. Dies dauert jedoch nur so lange, bis, vermöge der immer gröfseren beständigen Durchfeuchtung der Haut, der Widerstand von der Dauer der Benetzung in jedem einzelnen Versuch beinahe unabhängig geworden ist. Ist er es ganz und gar, oder sinkt er wenigstens in jedem Versuch nur noch langsamer als die elektromotorische Kraft, so kann der Fall eintreten, den ich einmal beobachtet habe, dafs die Stromstärke bei kurzer Dauer der Benetzung die bei langer übertrifft. Für die allgemeine Richtigkeit dieser Vorstellungsweise spricht übrigens der Umstand, dafs es gelingt, die ungefähre Gleichheit und das gleichmäfsige Sinken der Ausschläge bei kurzer und langer Benetzung statt durch oft wiederholtes Eintauchen auch dadurch sogleich herbeizuführen, dafs man zuerst die beiden Hautstellen eine längere Zeit hindurch, zehn Minuten bis zu einer Viertelstunde, in die Lösung getaucht hält. Alsdann ist nämlich

Digitized by Google

auch in den Versuchen mit kurzer Benetzung der Widerstand seiner unteren Grenze nahe gebracht.

Die elektromotorische Kraft des Stromes zwischen Hand und Fufs, Hand und Elbogen, Handsohle und Handrücken nimmt also in Kochsalzlösung mit wachsender Dauer der Benetzung ab. Eine andere Frage ist es aber, ob daraus zu schliefsen sei, dafs eine jede der beiden Kräfte, als deren Unterschied jene Kraft aufzufassen ist, auch abnimmt. Mit anderen Worten, wir finden uns zurückgeworfen auf die Frage nach der Zulässigkeit der Voraussetzung $n = n_1$ in unserer obigen Zergliederung. Ist $n = n_1$ zu setzen, oder verändern sich beide Kräfte im gleichen Sinne proportional, so ist auch durch die letzten Versuche entschieden, dafs sie beide abnehmen, woraus denn weiter folgen würde, dafs die Kraft aus der Flüssigkeit in die Haut gerichtet ist, und dafs sie gröfser an der Handsohle als am Handrücken, hier gröfser als am Fufs ist u. s. w. (Vergl. oben S. 247). Allein wir können uns nicht verhehlen, dafs jene Voraussetzung hier so wenig gerechtfertigt ist, als vorhin in den Versuchen über die vergleichweise Stärke der Ungleichzeitigkeitsströme.

Was die Versuche mit Handsohle und Handrücken betrifft, so haben wir bereits oben gesehen, dafs aller Wahrscheinlichkeit nach die Kraft an dem Handrücken weniger sich mit der Dauer der Benetzung verändert als an der Handsohle, indem dies die einzige Art ist, die Abwesenheit der Ungleichzeitigkeitsströme an dem Handrücken in Einklang zu bringen mit ihrer Stellung in der Spannungsreihe der verschiedenen Hautstellen. Denkt man sich nun die Kraft aus der Haut in die Flüssigkeit gerichtet, und gröfser am Handrücken als an der Handsohle, allein langsamer mit der Dauer der Benetzung wachsend, so erklärt sich die Abnahme der Kraft zwischen beiden Hautstellen ebensogut als bei der Annahme der entgegengesetzten Richtung der Kraft, ihres Ueberwiegens an der Handsohle, und einer geringeren Abnahme der Kraft am Handrücken. Wir haben eben eine Unbekannte zu viel im Problem; es läfst sich aus der Ungleichheit

$$k - k_1 > nk - n_1 k_1 \text{ oder } k(1-n) > k_1(1-n_1)$$

kein Schlufs auf die relative Gröfse von k, k_1 oder von 1, n, n_1 ziehen.

Ein so grofser Unterschied, wie zwischen Handsohle und Handrücken, wird zwischen Hand und Fufs nun zwar nicht obwalten hinsichtlich des zeitlichen Verlaufes der Kräfte beider bei wachsender Dauer der Benetzung. Beide lassen die Ungleichzeitigkeitsströme in gleicher Weise wahrnehmen. Nichtsdestoweniger giebt es doch für Hand und Fufs einen noch strengeren Beweis, dafs n nicht $= n_1$, als für Handsohle und Handrücken. Er liegt in der oben S. 236 beschriebenen

Digitized by Google

Umkehr die Richtung des Stromes zwischen Hand und Fuſs, die häufig in der Kochsalzlösung beobachtet wird. Der Strom erscheint häufig zuerst ansteigend im Bein, nimmt an Gröfse ab, und schlägt dann mit einem Male rasch in den absteigenden Strom um. Dieser Zeichenwechsel der Resultante ist durchaus nicht anders zu erklären, als durch eine ungleich schnelle Veränderung beider Componenten in der Zeit. Es muſs entweder eine aus der Haut in die Flüssigkeit gerichtete Kraft erst an der Hand gröfser sein als am Fuſs, aber am Fuſs schneller wachsen als an der Hand, so daſs hier die Kraft durch die am Fuſs überholt wird; oder es muſs eine umgekehrt gerichtete Kraft erst am Fuſs gröfser sein, aber auch schneller abnehmen, als an der Hand. In beiden Fällen müſste der zuletzt sich kundgebende absteigende Strom im Bein im Wachsen bleiben bis zu einer gewissen Grenze. Unser letzter Versuch an Hand und Fuſs zeigt uns, daſs es sich anders verhält. Der absteigende Strom nimmt zuletzt wieder an Stärke ab. Dies zwingt zu neuen Voraussetzungen. Nimmt man an, daſs die Kraft aus der Haut in die Flüssigkeit gerichtet ist, und mithin, daſs n, $n_1 > 1$, so muſs man sich denken, daſs, während anfängs die Veränderung der Kraft schneller am Fuſs vor sich ging als an der Hand, in einem späteren Zeitraum das Entgegengesetzte stattfindet. Ertheilt man aber der Kraft die umgekehrte Richtung und den Unterschieden $1-n$, $1-n_1$ das umgekehrte Zeichen, so kann man sich entweder noch dasselbe denken, oder man kann sich auch vorstellen, daſs in dem späteren Zeitraum $n = n_1$ wird.

Die Versuchsreihe an Elbogen und Hand unterliegt der nämlichen Zweideutigkeit. Unter der durch das Verhalten der Elbogen beim ungleichzeitigen Eintauchen in Brunnenwasser gerechtfertigten Annahme, daſs die Kraft am Elbogen sich durch dauernde Benetzung weniger verändert als die an der Hand, kann man aus dem Ergebniſs dieser Versuchsreihe abermals machen was man will.

Wie man sieht, muſs somit die erste und wichtigste Frage, auf die man bei der Erörterung der beständigen Hautströme und der Ungleichzeitigkeitsströme der menschlichen Haut geführt wird, unbeantwortet bleiben. Ich wenigstens sehe dazu keinen Weg. Ich habe aber nicht unterlassen wollen, die Lage der Dinge, wie sie hier stattfindet, vollständig auseinanderzusetzen, theils um mich selber zu rechtfertigen, daſs ich jene Antwort schuldig bleibe, theils um solchen, die diese Untersuchung selbstthätig aufnehmen möchten, wenigstens so viel Vorschub geleistet zu haben, als in meinen Kräften stand.

Bisher haben wir nur die Versuche mit der Kochsalzlösung als Zuleitungsflüssigkeit im Auge gehabt. Die Versuche mit Brunnenwasser schlieſsen sich ihnen, bis auf die Erscheinungsweise der Ungleichzeitig-

Digitized by Google

keitsströme der Elbogen und des beständigen Stromes zwischen Hand und Fufs, im Allgemeinen sehr treu an. Zwar scheinen, in dieser Flüssigkeit, die beständigen Hautströme mit der Dauer der Benetzung schneller an Stärke abzunehmen, als in der Kochsalzlösung. Als ich nämlich den oben S. 254 beschriebenen Versuch mit Hand und Elbogen in Brunnenwasser wiederholte, hatte der Strom nach nur augenblicklicher Benetzung sofort ein entschiedenes Uebergewicht über den Strom nach längerer Benetzung. Jener warf die Nadel an die Hemmung, dieser gab oft nur sehr schwache Ausschläge. Dies scheint zu zeigen, dafs die oben S. 224 erwähnte gröfsere Stärke der Ungleichzeitigkeitsströme im Brunnenwasser wirklich auf gröfserer elektromotorischer Kraft beruht. Obschon demgemäfs zwischen der Erscheinungsweise der beständigen Hautströme in der Kochsalzlösung und der im Brunnenwasser einige Abweichungen obwalten, sind doch diese Abweichungen nicht der Art, dafs man nicht die für die Lösung gewonnenen Ergebnisse ohne Anstand sollte auf das Brunnenwasser übertragen können. Die Versuche mit der Säure und dem Alkali dagegen führen zu neuen Verwickelungen.

Dafs die Ungleichzeitigkeitsströme in der Säure die verkehrte Richtung zeigen von der in der Salzlösung, läfst sich auf zweierlei Art erklären. Man kann dies deuten auf verkehrte Richtung der elektromotorischen Kraft sowohl, als auf ein verschiedenes Gesetz der Veränderung der Kraft mit der Dauer der Benetzung. Sollte also z. B. in der Salzlösung die Kraft wirklich aus der Flüssigkeit in die Haut gerichtet sein und mit wachsender Dauer der Benetzung abnehmen, so braucht sie in der Säure nur, bei gleichem Sinne, mit der Dauer zuzunehmen, damit die Ungleichzeitigkeitsströme die verkehrte Richtung haben. Indessen derselbe Umstand, der uns am Eingang dieser Erörterung bewog, eine enge Beziehung zwischen den beständigen und den Ungleichzeitigkeitsströmen anzunehmen, dafs nämlich auch der Strom zwischen Handsohle und Handrücken in der Säure seine Richtung ändert, dieser Umstand läfst auch die Meinung annehmbarer erscheinen, dafs vielmehr die Kraft selber, bei gleichem Verlauf in der Zeit, die umgekehrte Richtung habe.

An und für sich liegt darin nichts Störendes. Allein unbegreiflich ist zunächst, dafs diese Umkehr der Kraft nicht überall in gleicher Art stattfindet. Sie ist eingeschränkt auf den Strom zwischen Handsohle und Handrücken, und vorübergehend befällt sie auch den zwischen Hand und Elbogen. Aber bald kehrt hier die gewöhnliche Strömungsrichtung wieder, wie sie in der Kochsalzlösung und dem Brunnenwasser herrscht, und zwischen Hand und Fufs einerseits, andererseits der Brust, ist sie stets beobachtet worden. Dies scheint nicht anders zu verstehen, als

Digitized by Google

indem man, wie wir auch oben S. 240 gethan haben, zwischen Handsohle und Handrücken, Hand und Elbogen eine besondere Art von Wirkung annimmt, die sich in der Säure umkehrt, während eine andere Art von Wirkung zwischen Hand und Elbogen und Brust u. s. w. ihre Richtung unverändert beibehält. Die erste ist gewifs betheiligt bei der Erzeugung der Ungleichzeitigkeitsströme, da auch diese ihre Richtung umkehren. Dafs auch die zweite daran Theil habe, ist zwar sehr wahrscheinlich, insofern sie, damit dies nicht der Fall sei, von der Zeit ganz unabhängig sein müfste. Indessen läfst sich kein thatsächlicher Beweis dafür beibringen. Die Ergebnisse der Versuche mit der Kalilauge, so weit sie jetzt vorliegen, scheinen einer solchen Scheidung der beständigen Hautströme in zwei Klassen gleichfalls das Wort zu reden. Auch hier zeigt der Strom zwischen Handrücken und Handsohle Unregelmäfsigkeiten, der zwischen Hand und Fufs und Brust bleibt unverändert.

Wendet man die oben S. 18 entwickelten Schlufsfolgerungen auf die hier in Rede stehenden Ströme an, so gelangt man zu dem Ergebnifs, dafs die Ströme, deren Richtung von der Natur der Zuleitungsflüssigkeit abhängt, wohl von einer Berührung der Haut mit der Flüssigkeit herrühren mögen; sei's, dafs die Haut selber mit den Flüssigkeiten elektromotorisch wirkt, sei's, was wenig wahrscheinlich ist, dafs sie, einem Metalle gleich, durch die Berührung eine oberflächliche Veränderung erleidet, die in den verschiedenen Flüssigkeiten von verschiedener Beschaffenheit ist, und vermöge deren die Haut an und für sich, einem zusammengelötheten Plattenpaar vergleichbar, elektromotorisch wirkt (S. oben S. 248). In beiden Fällen ist natürlich noch, um das Zustandekommen des Stromes zu erklären, eine vorgebildete Ungleichartigkeit der verschiedenen Hautstellen anzunehmen, in Folge welcher sie entweder bei der Berührung mit den Flüssigkeiten verschieden stark elektromotorisch wirken, oder dadurch in verschiedenem Mafse elektromotorisch verändert werden.

Was aber die Ströme betrifft, die ihre Richtung in den verschiedenen Flüssigkeiten unverändert beibehalten, so scheint es nicht, als könnten sie durch die Berührung derselben bedingt sein. Eben so wenig ist denkbar, dafs die Haut durch die Flüssigkeiten so verändert werde, dafs sie immer in demselben Sinne elektromotorisch wirksam werde. Es bleibt, um diese Ströme zu erklären, durchaus nichts übrig, als, wie am Frosch, in der Haut des Menschen eine vorgebildete elektromotorische Kraft anzunehmen, welche an verschiedenen Stellen verschieden grofs ist, und gegen deren Unterschied an zwei Hautstellen der Unterschied derjenigen Kräfte nicht in Betracht kommt, mit denen denn doch die Flüssigkeit, bei der Berührung der Haut, ihrerseits elektromo-

Digitized by Google

torisch zu wirken nicht umhin kann. Da aber auch hier ein der Berührung der Flüssigkeiten vorbestehender Unterschied in der Beschaffenheit der Haut zu Grunde liegt, so habe ich in der Aufschrift zu dieser Nummer (S. oben S. 231) beide Klassen von beständigen Hautströmen, im Gegensatz zu den Thermoströmen und Ungleichzeitigkeitsströmen, als Ströme bedingt durch vorgebildete Ungleichartigkeiten der menschlichen Hautoberfläche, zusammengefafst.

Worin jene zuletzt erwähnte, vorgebildete elektromotorische Kraft der Haut begründet sei, darüber möchte es wohl noch zu früh sein, eine Vermuthung auch nur mit einem Schein von Recht aufzustellen. Wir lassen diese Erörterung damit auf sich beruhen. Ohnehin wird sogleich die nächste Folge lehren, dafs das Füllhorn von Räthseln, welches hier über uns ausgeschüttet wird, noch nicht erschöpft ist. Wir werden noch zwei Klassen elektromotorischer Wirkungen der Haut kennen lernen, die gleichfalls von der Natur der Zuleitungsflüssigkeiten unabhängig sind, und deren Erforschung jeder weiteren theoretischen Bestrebung an dieser Stelle nothwendig voraufgehen müfste.

Hier würde übrigens der Ort sein, um den Versuch zu machen, in die Bedeutung der Erscheinung, die wir den Eigenstrom zweier Hautstellen genannt haben (S. oben S. 205), etwas tiefer einzudringen. Es liegt nahe, den Eigenstrom jetzt anzusehen als hervorgebracht durch einen, wenigstens dem Zeichen nach, beständigen Unterschied der elektromotorischen Kräfte beider Hautstellen. Man sieht jedoch, dafs vor allen Dingen das Verhalten des Eigenstromes in verschiedenen Zuleitungsflüssigkeiten sicherer ermittelt werden müfste, als es bis jetzt geschehen ist (Vergl. oben S. 205). Sollte er in den verschiedenen Zuleitungsflüssigkeiten zur selben Zeit verschiedene Richtung haben, so würde jene Ansicht dadurch wohl der Gewifsheit nahe gebracht sein, und der Eigenstrom würde der ersten der beiden Klassen von beständigen Hautströmen angehören, die eben von uns unterschieden worden sind. Sollte dagegen der Eigenstrom in allen Zuleitungsflüssigkeiten einerlei Richtung behalten, wie ich glaube, dafs es in Wirklichkeit der Fall ist, so würde es zweifelhaft bleiben, ob er zur zweiten Klasse der beständigen Hautströme zu rechnen sei, oder ob er nicht vielleicht von den Muskeln ausgehe, und der Ausdruck sei der verschiedenen Ausbildung der parelektronomischen Schicht an den betreffenden Muskelgruppen. Mehr läfst sich vor der Hand nicht darüber sagen.

Schliefslich sei bemerkt, dafs es eine Art von Versuchen über die elektromotorische Beschaffenheit der Haut giebt, mit der ich mich noch nicht befafst habe, die aber möglicherweise hier zu manchem Aufschlufs führen könnte. Sie würde darin bestehen, die Ströme zu untersuchen,

Digitized by Google

zu denen die Benetzung zweier Hautstellen mit ungleichartigen Flüssigkeiten Anlafs geben mufs. Bei der Erforschung wenigstens des oben S. 248 geschilderten Kreises von Erscheinungen an Metallen, der mit dem hier in Rede stehenden an der Haut so grofse formelle Aehnlichkeit hat, leistet diese Versuchsweise wichtige Dienste.

6. Von der durch das Ausdehnen der Haut bewirkten elektromotorischen Ungleichartigkeit derselben.

Was die elektromotorischen Wirkungen der unverletzten Haut betrifft, so bleibt mir nur noch übrig, eine Erscheinung zu beschreiben, die zwar ganz vereinzelt dasteht, die aber wegen ihrer bedeutenden Gröfse, ihrer vollkommnen Beständigkeit und der praktischen Wichtigkeit, die sie demnächst für uns erhalten wird, wohl geeignet ist, die Aufmerksamkeit auf sich zu ziehen.

Es ist bereits oben S. 220 auf diese Erscheinung hingewiesen worden, als verlangt wurde, dafs sich die beiden Hände bei den Versuchen mit denselben hinsichtlich der Beugung und Streckung der Finger in einerlei Zustand befinden sollten. In diesem Falle gelingt es leicht, wie ebendaselbst gesagt worden ist, die Hände nahe völlig gleichartig miteinander werden zu sehen. Es bleibt zuletzt der Eigenstrom zurück, und bei dauernder Schliefsung wird derselbe durch die Ladungen, die er auf den Platinenden entwickelt, bald völlig verdeckt. Wird aber jetzt die eine Hand, wenn auch nur ganz leise, zur Faust geballt, so sieht man plötzlich einen sehr starken Strom entstehen, der die Nadel an die Hemmung des Multiplicators für den Nervenstrom wirft, indem er die zur Faust geballte Hand als positiv anzeigt gegen die andere. Die Wirkung hält, jedoch mit abnehmender Stärke, so lange an, als die Hand zur Faust geballt bleibt. Oeffnet man die Hand, so fliegt die Nadel sofort an die entgegengesetzte Hemmung, und zeigt so die Ladungen an, die der erste Strom entwickelt hat.

Man kann den Versuch auf mancherlei Art abändern. Z. B. man taucht eine Hand im geballten, die andere im gewöhnlichen Zustande ein; die erstere verhält sich positiv gegen die letztere. Oder man taucht beide Hände im geballten Zustande ein, und wartet so das Gleichgewicht der Nadel ab. Oeffnet man jetzt die eine Faust, so entsteht ein Ausschlag, der die geöffnete Faust als negativ anzeigt gegen die andere. Schliefst man sie wieder, so werden Ladungen frei u. s. w. Hat man anfänglich die Hände nur mit geringer Kraft geballt, und ballt nun die eine Faust heftiger, so erscheint die letztere Faust positiv gegen die erstere. Man kann auch, anstatt die Hände zur Faust zu machen, einen

Digitized by Google

in die Flüssigkeit versenkten Gegenstand, einen Stab z. B., umfassen. Die Hand, die ihn fester umschliefst und drückt, verhält sich positiv gegen die, die ihn nur locker ergreift. Endlich braucht bei diesen Versuchen gar nicht der Kreis durch beide Hände geschlossen zu sein. Sondern auf der einen Seite kann die Ableitung auf irgend eine andere Art, durch den Elbogen, den Fufs, das Brustgefäfs, kurz wie man will, bewerkstelligt sein. Ist die Nadel in der beständigen Ablenkung zur Ruhe gekommen, die dem im Kreise herrschenden Strom entspricht und es wird die Hand zur Faust geballt, so entsteht sogleich ein Ausschlag, welcher anzeigt, dafs die Hand durch das Faustballen positiver geworden ist, als sie vorher war.

Der Strom durch Ballen der einen Hand zur Faust erscheint in allen vier Zuleitungsflüssigkeiten, deren wir uns in den beiden vorigen Nummern bedient haben: Kochsalzlösung, Brunnenwasser, verdünnte Schwefelsäure und Kalihydratlösung. Seine Richtung ist in allen die nämliche, und seine Stärke läfst keinen Unterschied erkennen, den man nicht auf Rechnung des verschiedenen Widerstandes bringen könnte.

Beim ersten Anblick dieser Thatsachen könnte man meinen, in dem Strom durch das Faustballen auf die negative Schwankung eines Theiles des Muskelstromes des Armes gestofsen zu sein. Von der Hand zur Brust kreist, wie wir gefunden haben, ein starker Strom. Hier haben wir in dem Augenblicke, wo eine Zusammenziehung der Beugemuskeln der Finger erfolgt, einen Strom im umgekehrten, im absteigenden Sinne, eine Erscheinungsweise, die scheinbar ganz übereinkommt mit der an den Beinen des Frosches.

Diese Deutung würde indefs ganz irrig sein. Trotzdem dafs der Strom durch das Faustballen in den verschiedenen Flüssigkeiten einerlei Richtung behält, hat er ebensowenig etwas zu schaffen mit dem Muskelstrom, als der Strom zwischen Hand und Fufs einerseits und der Brust andererseits. Zwar wird die Folge zeigen, dafs die Zusammenziehung der Beugemuskeln des Armes einen Strom erzeugt. Aber dieser Strom ist auch bei der äufsersten Heftigkeit der Zusammenziehung jener Muskeln aufserordentlich viel schwächer als der Strom beim Faustballen, der schon die Nadel an die Hemmung führt, wenn man auch nur ganz schwach die Faust macht. Er hat ferner die umgekehrte Richtung von der dieses Stromes, d. h. er ist aufsteigend im Arme. Er hat endlich noch ein anderes Merkmal, welches dem Strom beim Faustballen fehlt, und von dem gehörigen Ortes die Rede sein wird. Uebrigens werden wir sogleich noch auf andere Umstände stofsen, welche die in Rede stehende Annahme ganz unmöglich machen.

Der Strom beim Faustballen ist also ein blofser Hautstrom. Natür-

Digitized by Google

lich entsteht nun die Frage, wie es möglich sei, dafs durch das Ballen zur Faust die elektromotorische Beschaffenheit der Haut eine Veränderung in so ungeheurem Mafsstab erleide. Der erste Gedanke ist, dafs vielleicht die Wirkung daher rührt, dafs die gegen den Rücken negative Sohle der geballten Hand aus der Kette gebracht werde, indem sie nur noch durch die Spalten zwischen den Fingern mit der übrigen Zuleitungsflüssigkeit in Verbindung stehe. So verhalte sich die ganze eingetauchte Hand negativ gegen den Handrücken, oder gegen die gleichfalls eingetauchte andere Hand, an der aber die Handsohle mit einem Ueberzug von Klebäther versehen ist (S. oben S. 232). Diese Annahme hat das Lockende, dafs durch ihre Bestätigung der Strom beim Faustballen mit dem gewöhnlichen Hautstrom zwischen Handsohle und Handrücken in Verbindung gebracht sein würde. Sie läfst sich auch auf den Fall ausdehnen, wo die Ableitung nur auf der einen Seite von der Hand geschieht, die alsdann, wenn sie zur Faust geballt wird, positiver erscheint, als sie vorher war.

Ohne Zweifel ist bei dem Strom durch Faustballen die eben dargelegte Ursache mit im Spiel. Allein es ist leicht zu zeigen, dafs sie nicht allein den Grund der Wirkungen enthält.

Erstens ist zu erinnern, dafs der Strom zwischen Handsohle und Handrücken in der verdünnten Schwefelsäure, um von der Kalilauge zu schweigen, seine Richtung umkehrt, der Strom beim Faustballen sie aber, wie oben gesagt wurde, unverändert beibehält.

Zweitens findet sich, dafs der Strom beim Faustballen zu stark ist, um von dieser Ursache abgeleitet werden zu können. Ich tauche zuerst in die beiden mit Kochsalzlösung gefüllten Handgefäfse eine Hand im gewöhnlichen Zustande mit halbgebeugten Fingern, und eine zur Faust geballte Hand, und verzeichne den Ausschlag am Multiplicator für den Nervenstrom, von dem aber, bei diesem Versuch, nur die halbe Länge in Anwendung kommen darf. Nachdem die Hände mit Wasser gehörig abgespühlt und getrocknet sind, tauche ich in die Handgefäfse die Sohle der Hand, die ich vorher nur halbgebeugt hielt, und den Rücken der, die ich zur Faust geballt hatte. Obschon diesmal die Haut bereits durchfeuchtet ist, der Widerstand also geringer, fällt doch die Stromstärke weit geringer aus, als im ersten Falle, und so oft man den Versuch wiederholt, bleibt stets das Verhältnifs der Stromstärken das nämliche. Man sieht aber leicht ein, dafs es gerade das umgekehrte sein müfste, sollte unsere Deutungsweise sich bewähren. Wenn der Strom zwischen der halbgebeugten und der geballten Hand nur davon herrührte, dafs die Sohle der geballten Hand aus der Kette gebracht wird, so müfste der Strom bei gleichem Widerstande augenscheinlich noch stärker sein,

Digitized by Google

wenn man statt der halbgebeugten Hand nur die Handsohle, und statt der geballten Hand nur den Handrücken mit der Lösung in den Handgefäfsen in Berührung bringt.

Vollends entscheidend ist drittens nachstehender Versuch, der zugleich auf den rechten Weg führt, um den eigentlichen Sinn der Erscheinung zu erfassen. Taucht man nämlich in das eine Handgefäfs nur den Handrücken der halbgebeugten Hand, in das andere den Handrücken der zur Faust geballten Hand, so findet man stets den letzteren stark positiv gegen den ersteren. Die Handsohle der halbgebeugten Hand braucht sich also gar nicht im Kreise zu befinden, damit sich die halbgebeugte Hand negativ verhalte gegen die zur Faust geballte Hand. Sie hat folglich mit der Wirkung, auf die es hier ankommt, nichts zu schaffen. Die Wirkung geht allein von den beiden Handrücken aus.

Untersucht man nun, welche Veränderung die Haut des Handrückens beim Faustballen erleidet, so findet man, dafs sie stark ausgedehnt wird. Möglicherweise also verhält sich ausgedehnte Haut positiv gegen solche, die in ihrem natürlichen Zustande verharrt. Die folgenden Versuche lassen keinen Zweifel daran übrig.

Ich tauchte beide Hände im gewöhnlichen, halbgebeugten Zustand in die Handgefäfse. In das eine Handgefäfs hatte mein Gehülfe, Herr Stud. Lindner, gleichfalls eine Hand eingetaucht, und ergriff damit, von der Volarseite her, die meine. Seine Hand berührte aber die meine nicht unmittelbar, sondern ein Stück Wachstaffent oder eine Kautschukplatte stellte eine nicht leitende Scheidewand zwischen uns her. Die Hand des Herrn Lindner befand sich also nicht in der Kette. Nachdem die Nadel zur Ruhe gekommen war, liefs ich Herrn Lindner meine Mittelhand in die Quere so zusammendrücken, dafs die Haut des Handrückens stark ausgedehnt wurde in einer Richtung senkrecht auf diejenige, in der sie beim Faustballen durch die Hand selber ausgedehnt wird. Sofort setzte sich die Nadel in Bewegung, die Hand, deren Rückenhaut dergestalt ausgedehnt wurde, als positiv anzeigend gegen die andere. Geschah die Zusammendrückung in der Art, dafs zwar Herrn Lindner's Hand dabei ganz auf dieselbe Weise angestrengt, hingegen die Dehnung der Rückenhaut meiner Hand vermieden wurde, was sehr leicht von statten ging, so blieb die Nadel in Ruhe.

Die Wirkung ging also ganz gewifs nicht aus von der in Kraftanstrengung begriffenen Hand des Herrn Lindner, die die meine zusammendrückte, was ja auch durch die nichtleitende Schicht zwischen beiden unmöglich gemacht war. Somit liefert dieser Versuch zunächst den oben angekündigten Beweis, dafs die elektromotorische Wirkung beim Faustballen nicht auf der negativen Schwankung eines Theiles des Muskel-

Digitized by Google

stromes des Armes beruht. Sodann zeigt er, dafs das Faustballen eben nichts anderes zu bedeuten hat, als dafs es ein bequemes und einfaches Mittel abgiebt, die Haut des Handrückens an der eigenen Hand auszudehnen. Ausdehnen der Haut durch eine fremde Kraft und in beliebiger Richtung hat ganz denselben Erfolg.

Demgemäfs findet es sich denn auch, dafs noch eine andere Gestaltveränderung der Hand, als das Faustballen, die aber gleichfalls von einer Ausdehnung der Haut begleitet ist, die Hand positiver macht. Sie besteht darin, dafs man an der flach ausgestreckten Hand die beiden ersten und die beiden letzten Finger möglichst weit von dem Mittelfinger entfernt oder abducirt. Taucht man beide Hände flach ausgestreckt in die Handgefäfse, läfst die Nadel zur Ruhe kommen und spreizt dann die Finger der einen Hand in der beschriebenen Art aus, so erfolgt ein Strom in derselben Richtung, obschon weit schwächer, als ob man diese Hand zur Faust geballt hätte. Beim Aneinanderschliefsen der Finger geben sich Ladungen kund u. s. w.

Endlich zeigt es sich, dafs noch andere Hautstellen als der Handrücken beim Ausdehnen dieselbe räthselhafte Wirkung wahrnehmen lassen. Man strecke das erste Glied der vier letzten Finger beider Hände, so dafs es einen Winkel von zwei Rechten mit der Mittelhand macht, beuge das zweite Glied in einen rechten Winkel gegen das erste, das dritte in einen rechten Winkel gegen das zweite. Bei dieser Stellung der Hand kann man leicht die Oberfläche der Lösung in den beiden Handgefäfsen nur mit der Rückenhaut des zweiten Gliedes berühren. Geschieht dies, indem man eben nur die beiden Hände ohne Kraftaufwand in der beschriebenen Stellung hält, so bleibt die Nadel verhältnifsmäfsig in Ruhe. Drückt man aber an der einen Hand die Volarfläche der dritten Glieder kräftig gegen die der ersten Glieder, wobei die Rückenhaut des zweiten Gliedes ausgedehnt wird, so verhält sich diese Hand positiv gegen die andere.

Die Rückenhaut des zweiten Gliedes der Finger steht der der Hand elektromotorisch vielleicht noch zu nahe, um in diesem Versuch eine wesentliche Abänderung des Versuches mit dem Faustballen zu sehen. Allein schon der Erfolg des Versuches mit dem Ausspreizen der Finger führt auf die Vermuthung, dafs wohl auch die Handsohle der positiven Veränderung durch das Dehnen unterworfen sein könnte, insofern nämlich am Handrücken dabei im Grunde nur die Haut zwischen Daumen und Zeigefinger kräftig gespannt wird. Berührt man den Spiegel der Salzlösung in dem einen Handgefäfs mit der Sohle der einen flach ausgestreckten Hand, deren Finger aneinandergeschlossen sind, den in dem anderen Gefäfs mit der Sohle der anderen flach ausgestreckten Hand,

Digitized by Google

deren Finger aber auseinandergespreizt sind, so findet man diese ziemlich regelmäfsig schwach positiv gegen die erstere. Die Handsohle ist stark negativ gegen den Handrücken. Es wird nun von Wichtigkeit sein, zuzusehen, ob auch eine gegen den Handrücken stark positive Hautstelle sich beim Dehnen ebenso verhält. Eine solche, die zugleich leicht in verschiedenem Mafs angespannt werden kann, bietet sich uns am Elbogen dar. Sie zeigt aber gleichfalls auf das entschiedenste die durch das Ausdehnen der Haut bedingte Ungleichartigkeit. Taucht man in das eine Handgefäfs den einen Elbogen im halbgebeugten, den anderen im starkgebeugten Zustande, so verhält sich dieser positiv gegen jenen.

Natürlich kann man auch an den Fingern, den Handsohlen und Elbogen den Versuch auf mannigfache Art abändern, wie oben S. 260 den Versuch an den ganzen Händen. Man kann, anstatt die einen Finger oder den einen Elbogen schwach, die anderen Finger oder den anderen Elbogen stark gebeugt einzutauchen, das Eintauchen bei gleichem Grade der Beugung auf beiden Seiten vornehmen, und erst später, nach beruhigter Nadel, den Grad der Beugung auf der einen Seite verändern, und so die Ausdehnung der Haut hier und dort ungleich machen. Ebenso kann man in dem Versuch mit den Handsohlen das Ausspreizen der Finger erst vornehmen, nachdem die beiden flach ausgestreckten Hände den Spiegel der Lösung berührt haben und die Nadel zur Ruhe gekommen. Doch ist in allen drei Fällen der erstbeschriebenen Gestalt des Versuches der Vorzug zu schenken, weil es bei der zweiten nicht leicht ist, die Höhe unverändert zu lassen, bis zu der die Haut benetzt war, so dafs sich dabei, wenn auch schwache und unregelmäfsige Ströme wegen ungleichzeitiger Benetzung in das Ergebnifs einmischen können.

Da die elektromotorische Wirkung durch das Dehnen der Haut ihre Richtung in den verschiedenen Zuleitungsflüssigkeiten nicht verändert, so kann diese Wirkung nicht von der Berührung der Flüssigkeiten mit der Haut herrühren, sondern sie mufs von der Haut selber ausgehen. Was aber die Frage betrifft, wie durch das Ausdehnen die Haut positiver gemacht werden könne gegen nicht ausgedehnte Haut, so versteht es sich bei dem Stande der Untersuchung von selbst, dafs wir die Antwort darauf schuldig bleiben müssen. Nur einer falschen Vorstellung, die Einer oder der Andere fassen könnte, möchte ich hier vorbeugen. Beim ersten Anblick, und wenn man nur die erste Gestalt des Versuches im Auge hat, worin von beiden eingetauchten Händen die eine zur Faust geballt wird, könnte man sich zu der Meinung verleitet fühlen, die elektromotorische Wirkung beim Faustballen rühre her von der Benetzung neuer Punkte der Hautoberfläche, die sich beim Ausdehnen der Rückenhaut der Hand erst entwickeln. Die Wirkung

Digitized by Google

sei also im Grunde eine solche wegen ungleichzeitiger Benetzung, einerlei mit den uns wohlbekannten Ungleichzeitigkeitsströmen. Es hält nicht schwer, diese Ansicht zu widerlegen.

Wie man sich erinnert, zeigen die Handrücken in Kochsalzlösung und Brunnenwasser die Ungleichzeitigkeitsströme nur sehr unregelmäfsig. Die Wirkung beim Ausdehnen der Haut ist aber ganz regelmäfsig, die gedehnte Rückenhaut verhält sich stets positiv gegen die nicht gedehnte. Die Elbogen zeigen zwar in der Salzlösung regelmäfsige Ungleichzeitigkeitsströme, allein der jüngstbenetzte Elbogen verhält sich negativ gegen den erstbenetzten. Er müfste sich positiv verhalten, wenn ein Zusammenhang zwischen den Ungleichzeitigkeitsströmen und den Strömen durch Dehnung der Haut annehmbar sein sollte. In der verdünnten Schwefelsäure kehren sich die Ungleichzeitigkeitsströme um, in der Kalilauge werden sie unregelmäfsig. Die Ströme durch Dehnung der Haut bleiben in beiden Flüssigkeiten unverändert. Mit anderen Worten, wenn die oben S. 258 hingestellte Eintheilung der Hautströme richtig ist in solche, deren elektromotorische Kraft durch die Berührung mit der Zuleitungsflüssigkeit erst gesetzt wird und deren Richtung demgemäfs von dieser abhängt, und in solche, deren elektromotorische Kraft unabhängig von jener Berührung in der Haut selber entspringt, so gehören die Ungleichzeitigkeitsströme, wie bereits oben a. a. O. bemerkt wurde, zu der ersten Klasse, die Ströme durch Dehnung der Haut dagegen sind der zweiten Klasse zuzurechnen.

Diese Betrachtung würde allein schon ausreichen, um die Unstatthaftigkeit der in Rede stehenden Deutung zu beweisen. Für's zweite ist aber auch die Stärke der Ströme durch Dehnung der Haut viel zu beträchtlich, um sie von ungleichzeitiger Benetzung ableiten zu können. Es ist klar, dafs, wenn darin der Grund jener Ströme enthalten wäre, dieselben nie auch nur so stark werden könnten, als die Ungleichzeitigkeitsströme; sie müfsten stets weit unter ihnen an Stärke bleiben. Nicht nur aber, dafs sie sie daran erreichen, sie lassen sie sogar nicht selten weit hinter sich.

Drittens sind die Ströme durch Dehnung der Haut beständiger Art. Wären sie Ströme wegen ungleichzeitiger Benetzung, so müfsten sie bald verschwinden, ohne Ladungen zu hinterlassen, und es könnte z. B. nicht beim Eintauchen beider Fäuste und nachmaligem Oeffnen einer derselben, sich diese negativ verhalten gegen die geballt gebliebene.

Endlich viertens und zum Ueberflusse pafst ja die bekämpfte Deutungsweise gar nicht auf die Form des Versuches, wobei man den Spiegel der Zuleitungsflüssigkeit in dem einen Gefäfs mit dem Rücken der einen halbgebeugten Hand, den in dem anderen mit dem Rücken der

Digitized by Google

zur Faust geballten anderen Hand berührt, und die entsprechende Versuchsform mit den Fingern, den Handsohlen und Elbogen. Beruhte der Strom beim Ausdehnen der Haut auf ungleichzeitiger Benetzung, so dürfte er hier nicht stattfinden, wo die Benetzung auf beiden Seiten gleichzeitig ist.

Schliefslich ist zu bemerken, dafs die elektromotorische Wirkung durch Dehnen der Haut vielleicht einen Antheil hat an den räthselhaften Strömen, welche durch festeres Andrücken eines bereits dicht anliegenden Bausches an die Haut entstehen, und grofsentheils daran Schuld sind, dafs wir auf den Gebrauch der Bäusche zur Ableitung der Ströme vom lebenden menschlichen Körper haben Verzicht leisten müssen (Vergl. oben S. 222).

7. Von dem elektromotorischen Verhalten der Wunden gegen die Oberhaut.

Es ist oben S. 203 verlangt worden, dafs die Hautstellen, deren elektromotorisches Verhalten gegeneinander unter verschiedenen Umständen wir erforschen wollten, vollkommen unverletzt seien. Nachdem ich, in den vorigen Nummern, von dem elektromotorischen Verhalten der unversehrten Haut ein möglichst vollständiges Bild entworfen habe, komme ich jetzt endlich dazu, den Grund jener Vorschrift darzulegen.

Taucht man zwei Finger bei gleicher Temperatur und gleichzeitig in gesättigte Kochsalzlösung, von denen der eine auch nur die geringste Verletzung hat, den kleinsten Schnitt, Stich, die kleinste abgestofsene Stelle an der Haut oder die kleinste sogenannte Nagelwurzel, gleichviel ob frisch und blutend, oder nach gestillter Blutung, oder eine eiternde Fläche darbietend: so zeigt sich unabänderlich der verletzte Finger heftig positiv gegen den unverletzten,[1] so dafs die Nadel des Multiplicators für den Muskelstrom bis auf 70° geht, die des Multiplicators für den Nervenstrom an die Hemmung fliegt. Der Strom ist von beständiger Kraft. Die Nadel des letzteren Multiplicators wird dadurch dauernd auf 60—70° gehalten. Bei diesem Stande der Dinge ist begreiflich fast jede andere Beobachtung untersagt. Ueberzieht man aber die Wunde mit Klebäther, so verschwindet sofort jede Spur des Stromes, und man kann, so lange der nichtleitende Ueberzug dicht hält, mit den Fingern arbeiten, als ob sie unverletzt wären. Bringt man an dem anderen Finger eine entsprechende Verletzung an, so verhalten sich auch die Finger wieder leidlich gleichartig.

[1] Vergl. du Bois-Raymond in den Comptes rendus etc. 21 Mai 1849. t. XXVIII. p. 641.

Digitized by Google

Ich hatte mir, behufs später zu beschreibender Versuche,[1] an der Rückenfläche eines jeden Unterarmes über dem Knöchel des Handgelenkes eine Blasenpflasterwunde angelegt. Jede Wunde verhielt sich, bei der Untersuchung mit Salzbäuschen, stark positiv nicht allein gegen die Finger, sondern auch gegen die ihr selber wie auch der anderen zunächst benachbarte Haut. Zwei gleich frische Wunden der Art verhielten sich ziemlich gleichartig. In einem Falle waren aber die beiden Wunden nicht von gleichem Alter. Die eine war nämlich erst vierundzwanzig Stunden nach der anderen angelegt, und diese während der Zeit mit Unguentum Sabinae eiternd erhalten. Hier verhielt sich die frische Wunde positiv gegen die eiternde.

Ich habe versucht, dieselben Wirkungen an der Haut der Leiche wahrzunehmen, bin aber dabei auf einen merkwürdigen Widerspruch gestofsen, den ich nicht zu erklären weifs. Nachdem mit den, oben S. 211. 212. 226. 232 erwähnten Leichenhänden alle früheren Versuche angestellt worden waren, feilte ich eine wunde Stelle an dem negativen der beiden zum Eintauchen bestimmten Finger, Zeige- und Mittelfinger, oder versetzte ihm eine Schnittwunde, und sofort verhielt sich dieser Finger stark positiv gegen den anderen. Er verhielt sich aber wiederum negativ, wenn ich die Wunde mit Klebäther schlofs. Soweit schien der Erfolg in der Ordnung, und zwar zu dem Schlusse berechtigend, dafs man es in dem Wundenstrom, so will ich den Strom zwischen einer verletzten Hautstelle und einer gesunden nennen, einfach zu thun habe mit einem gewöhnlichen Strom wegen Berührung ungleichartiger Flüssigkeiten, gleich dem der Säure-Alkali-Kette in dem Falle, wo die Elektroden in gleichartige Flüssigkeiten tauchen. Jetzt aber nahm ich ein Stück Haut von der Rückenfläche des Unterarmes einer drei Tage alten weiblichen Leiche, und brachte mit dem einen Zuleitungsbausch die Oberhaut, mit dem anderen die von der Fascia antibrachii abpräparirte Fläche der Haut in Berührung. Ich erwartete nicht anders, als dafs sich ein heftiger Strom, in der Haut von Aufsen nach Innen, kundgeben würde. Allein gerade das Entgegengesetzte zeigte sich; die Oberhaut verhielt sich positiv gegen das Unterhautbindegewebe. Ich brachte beide Bäusche mit der Oberhaut in Berührung, nachdem ich an der Berührungsstelle des einen eine Wunde mit der Scheere angelegt hatte. Aber die Nadel blieb unbewegt. Am Lebenden verhalten sich Stichwunden des Unterarmes ebensowohl positiv gegen die benachbarte Oberhaut, als solche der Finger.

Weiter habe ich diese Versuche in dieser Richtung nicht verfolgt.

[1] S. unten, No. 8.

Digitized by Google

Von der Vorstellung aus, dafs hier ein Strom gleich dem der Säure-Alkali-Kette vorliege, hatte ich aber bereits früher, jedoch mit eben so geringem Glücke, folgende Versuche unternommen. Ich dachte mir, die hier wirksamen Flüssigkeiten könnten sein einerseits die alkalisch reagirende Wundflüssigkeit, andererseits die sauer reagirende Hautabsonderung. Die Richtung des Stromes von der Säure zum Alkali in der Flüssigkeitskette schrieb ich unter dieser Voraussetzung dem Umstande zu, dafs die beiden erregenden Flüssigkeiten zwischen Kochsalzlösung als Zuleitungsflüssigkeit eingeschaltet waren. So hat auch der Strom zwischen Salpetersäure und Kalihydratlösung die Richtung von der Säure zum Alkali in der Flüssigkeit, wenn man statt Salpeter Kochsalzlösung zur zuleitenden Flüssigkeit nimmt (S. oben S. 19).

Um die Richtigkeit dieser Vermuthung zu prüfen, verfuhr ich so. Ich nahm an, die alkalische Reaction der Wundflüssigkeit rühre her von doppeltkohlensaurem Natron, die saure Reaction des Schweifses von Essigsäure. Demgemäfs untersuchte ich am Multiplicator für den Muskelstrom die Richtung des Stromes in nachstehenden Ketten aus mehreren Flüssigkeiten. Die zuleitenden Gefäfse waren stets mit gesättigter Kochsalzlösung gefüllt, und meine gewöhnlichen Zuleitungsgefäfse. Die Verbindung mit den erregenden Gefäfsen geschah, um nicht die Gleichartigkeit der Lösung zu gefährden, durch zweimal rechtwinklig gebogene, heberförmige Röhren, die mit Kochsalzlösung gefüllt und mit Stopfen aus Lackmuspapier verschlossen waren. Diese Stopfen nahmen verschiedene Farben an, so dafs die Enden nie verwechselt werden konnten (Vergl. oben S. 225). Von den beiden erregenden Gefäfsen enthielt stets das eine concentrirte Essigsäure (Acetum concentratum Ph. Bor.). Das andere wurde nacheinander gefüllt mit:

1. Verdünnter Essigsäure,
2. Destillirtem Wasser,
3. Verdünnter und gesättigter kohlensaurer Natronlösung,
4. Hühnereiweifs,
5. Menschlichem Serum.

Die Verbindung zwischen den erregenden Gefäfsen geschah durch einen mit concentrirter Essigsäure benetzten Fliefspapierstreifen. In allen Fällen ging der Strom in der Flüssigkeit von der concentrirten Essigsäure zur anderen erregenden Flüssigkeit. Hinsichtlich der Stärke der Ströme zeigte sich das Auffallende, dafs der Strom mit verdünnter Essigsäure in dem einen der erregenden Gefäfse merklich stärker war, als mit destillirtem Wasser und mit diesem stärker als mit der kohlensauren Natronlösung. Wenn hier nicht eine Täuschung obgewaltet hat, so hat man sich im ersten Falle wohl zu denken, dafs der Widerstand des

Digitized by Google

Kreises durch den Zusatz der Säure zum Wasser mehr herabgesetzt wurde[1] als die elektromotorische Kraft der Kette. In dem zweiten Falle mag die Gasentwickelung an der Grenze der Säure und des kohlensauren Natrons den Widerstand mehr erhöht haben, als er durch den Zusatz des Salzes zum Wasser vermindert worden war, und zwar in dem Maſse, daſs dadurch sogar die Vermehrung der elektromotorischen Kraft überwogen werden konnte.

Nun wünschte ich eine Flüssigkeit zu besitzen, bei deren Anwendung als Zuleitungsflüssigkeit der Strom jener Ketten sich umkehrte. Nach dem Vorbilde der Salpeterlösung bei Salpetersäure und Kalihydratlösung als erregenden Flüssigkeiten, wählte ich die gesättigte essigsaure Natronlösung. Ich wiederholte daher alle vorigen Versuche, nur mit dem Unterschiede, daſs zwischen der Kochsalzlösung und dem erregenden Gefäſs jederseits noch ein Gefäſs mit gesättigter essigsaurer Natronlösung eingeschaltet wurde. Dies Gefäſs wurde mit den erregenden Gefäſsen auf die nämliche Art verbunden, wie vorher die gewöhnlichen Zuleitungsgefäſse. Der Erfolg war der erwartete. Jetzt ging in allen Fällen der Strom in der Flüssigkeit von der anderen erregenden Flüssigkeit zur concentrirten Essigsäure.[2]

[1] Faraday hat gezeigt, daſs geschmolzener Eisessig nicht leitet. (Experimental Researches in Electricity. Reprinted from the Philosophical Transactions. London. Vol. I. 1839. p. 116. Series IV. No. 405. 407. p. 228. Series VII. No. 675. 773;* — Poggendorff's Annalen u. s. w. 1834. Bd. XXXI. S. 233;* — Bd. XXXIII. S. 309. 447.*) Ich habe bei dieser Gelegenheit dasselbe erfahren. Käuflicher Eisessig, welcher trocknes Lackmuspapier bereits röthete, leitete so schlecht, wie absoluter Alkohol. Faraday scheint aber, nach der letztangeführten Stelle (No. 773.), der Meinung zu sein, als leite ein Gemisch von Essigsäure und Wasser nicht besser als reines Wasser. Doch hat mir Bertz sehr interessante Messungen mitgetheilt, aus denen folgt, daſs der Widerstand eines solchen Gemisches, gleich dem eines Gemisches von Schwefelsäure und Wasser, bei einem gewissen Verhältniſs der Gemengtheile ein Minimum hat.

[2] Ich hatte, bei Anstellung der beschriebenen Versuchsreihe vor mehreren Jahren, dem einfach vor dem doppelt kohlensauren Natron den Vorzug geschenkt, weil mir kein Zweifel daran zu sein schien, daſs das elektromotorische Verhalten beider Salze das nämliche sein müsse und ich bei dem doppelt kohlensauren eine zu stürmische Gasentwickelung fürchtete, wobei mir seine geringe Löslichkeit nicht gegenwärtig war. Ich habe neuerdings nun auch mit diesem Salze die obigen Versuche wiederholen wollen. Merkwürdigerweise aber habe ich die Umkehr des Stromes zwischen essigsaurem Natron nicht beobachten können, und bei Wiederholung des älteren Versuches mit dem einfach kohlensauren Natron fand ich einmal dasselbe, ein anderes Mal ging der Strom gar zwischen Kochsalz wie zwischen essigsaurem Natron vom Alkali zur Säure in der Flüssigkeit. Ich weiſs mir diese Abweichungen nicht zu erklären, und es gebricht mir an Zeit, um die Sache durch Versuche in's Reine zu bringen. Ich hätte daher vielleicht am besten gethan, sie ganz mit Still-

Digitized by Google

Ich rechnete nun fest darauf, dafs auch der Wundenstrom seine Richtung umkehren würde bei Anwendung der essigsauren Natronlösung als Zuleitungsflüssigkeit. Dies war aber nicht der Fall. Der verletzte Finger verhielt sich auch in dieser Lösung heftig positiv gegen den unversehrten.

Nicht ohne besonderen Zweck eröffnete oben verdünnte Essigsäure die Reihe der Flüssigkeiten, die ich mit concentrirter Essigsäure zwischen Kochsalzlösung und essigsaurem Natron zur Kette verband. Zur Zeit, wo ich diese Versuche anstellte, war mir von den in der vorigen Nummer beschriebenen Erscheinungen erst der Strom zwischen Sohle und Rücken an der Hand und am Fufs in der oben S. 232 beschriebenen Gestalt bekannt geworden, bei der die Ableitung beiderseits durch Salzbäusche geschieht. Es war denkbar, dafs dieser Strom herrührte von der an der Handsohle reichlicheren Absonderung des freie Essigsäure und Milchsäure enthaltenden Schweifses. Ich wollte wissen, ob verdünnte Essigsäure sich gegen concentrirtere zwischen Kochsalzlösung wirklich negativ verhalte, und ob zwischen essigsaurer Natronlösung der Strom sich umkehren würde. Beides ist, wie man gesehen hat, der Fall. Ich versuchte daher, ob vielleicht der Strom zwischen Handsohle und Handrücken sich gleichfalls umkehren würde bei Anwendung von Bäuschen, die mit essigsaurer Natronlösung getränkt sind. Allein dies traf nicht zu. Abgesehen von einigen Unregelmäfsigkeiten, zeigte sich an der Hand und am Fufs der Strom zwischen Sohle und Rücken wie mit den Kochsalzbäuschen. Bei dieser Gelegenheit war es übrigens, wo die oben S. 226 erwähnten Versuche über die Erscheinungsweise der Ungleichzeitigkeitsströme in der essigsauren Natronlösung angestellt wurden.

Ich habe natürlich nicht versäumt, den Wundenstrom auch in den verschiedenen Zuleitungsflüssigkeiten zu prüfen, auf deren Anwendung ich im Lauf der Untersuchungen über die Hautströme geführt wurde. Dabei fing ich stets damit an, das Verhalten der beiden zum Versuch bestimmten Finger im gesunden Zustande zu ermitteln. Dann brachte ich dem negativen von beiden Fingern einen Stich mit der Lancette an der Rückenfläche des dritten Gliedes bei, und untersuchte

schweigen zu übergehen. Ich habe mir aber bei Darlegung dieser Untersuchungen zum Gesetz gemacht, gerade da, wo sie am wenigsten vollendet sind, den Stand der Fragen am genauesten zu schildern, und wenn ich trotz der jetzt dawider entstandenen Zweifel die ursprüngliche Versuchsreihe im Text habe stehen lassen, so ist dies geschehen, weil die damals beobachtete Uebereinstimmung der Versuche mit der verdünnten Essigsäure, dem destillirten Wasser, dem Eiweifs und dem Serum ihr ein gröfseres Gewicht zu geben scheint.

Digitized by Google

den Wundenstrom. Zuletzt überzog ich noch die Wunde mit Klebäther, und überzeugte mich so, dafs der Finger sein früheres Verhalten gegen den unverletzt gebliebenen wieder annahm, dafs also die bei offener Wunde beobachteten abweichenden Erscheinungen auch wirklich der Wunde zuzuschreiben seien.

Der Erfolg war, dafs in der verdünnten Schwefelsäure sowohl als in der Kalihydratlösung der verletzte Finger sich gegen den gesunden positiv verhielt wie in der Kochsalzlösung, und anscheinend eben so stark. Dagegen im Brunnenwasser zeigte sich die Wirkung zwar auch noch in derselben Richtung, aber nicht nur an sich, sondern auch im Verhältnifs zum Eigenstrom, ausnehmend viel schwächer. In den anderen Zuleitungsflüssigkeiten überwältigt der Wundenstrom unter allen Umständen den Eigenstrom; die Nadel fliegt immer an die Hemmung, die der im verletzten Finger absteigenden Stromesrichtung entspricht. In Brunnenwasser ist dies nicht der Fall, sondern höchstens erscheint der Eigenstrom durch Verletzung des negativen Fingers vermindert, selten wird er überwogen, so dafs der negative Finger durch die Verletzung positiv wird. Es kann vorkommen, dafs, wenn man den Versuch mit derselben Wunde nacheinander in Brunnenwasser und gesättigter Kochsalzlösung anstellt, der verletzte Finger sich in Brunnenwasser negativ, in der Kochsalzlösung dagegen positiv gegen den gesunden verhält. Bei alledem läfst sich noch nicht mit Bestimmtheit behaupten, dafs die elektromotorische Kraft des Wundenstromes im Wasser eine kleinere sei als in der Salzlösung. Es könnte ebensogut die Kraft des Eigenstromes eine gröfsere sein.

Hier haben wir also zu den beständigen Hautströmen zwischen Hand und Fufs einerseits, der Brust andererseits, und den Strömen zu denen das Ballen der Hände zur Faust Anlafs giebt, versprochenermafsen (S. oben S. 259) eine dritte Klasse unzweifelhafter Hautströme, die ihre Richtung in Zuleitungsflüssigkeiten von der verschiedensten chemischen Beschaffenheit unverändert beibehalten. Und zwar erscheinen diese um so räthselhafter, als es hier nicht einmal mehr, wie bei den beiden vorigen Klassen ähnlicher Ströme, zulässig scheint, sich vorzustellen, dafs eine in der Haut vorgebildete elektromotorische Kraft ihnen zu Grunde liegt. Weniger weil auch die Hand einer Leiche viele Tage nach dem Tode noch den Wundenstrom zu zeigen vermag. Sondern der wahre Grund ist der, dafs eine Verletzung der Haut zwar an der Summe der Widerstände, nicht aber an der der elektromotorischen Kräfte im Kreise etwas ändern könnte. Nie also könnte durch eine Verletzung die eine Hautstelle positiver gegen die andere gemacht werden, wie es in Wirklichkeit der Fall ist. Es bleibt demnach hier nichts anderes übrig, als

Digitized by Google

sich zu denken, entweder, dafs durch die Verletzung selber eine elektromotorische Kraft an der Wundfläche erst gesetzt werde, oder, dafs die Wundfläche sich gegen alle Zuleitungsflüssigkeiten, selbst die Kalilauge, positiv verhalte.

Eins ist so schwer zu begreifen, wie das andere. Es ist nun zwar noch eine dritte Auslegung dieser Versuche möglich. Die Wunden darin waren frisch blutend. Die Zuleitungsflüssigkeiten kamen also möglicherweise gar nicht in Berührung mit der Wundfläche, sondern nur mit dem aus der Wunde hervorquellenden Blut. Vielleicht würde, ohne diesen Umstand, die Richtung des Stromes in den verschiedenen Flüssigkeiten eine verschiedene gewesen sein. Indessen ist man, durch diese Betrachtung, für die Erklärung der Thatsachen nicht günstiger gebettet. Das elektromotorische Verhalten des Blutes als Glied einer Kette mit mehreren Flüssigkeiten haben wir oben Bd. I. S. 486. 487 untersucht. Das Blut verhält sich wie eine schwach alkalische Flüssigkeit. Die Berührung der Zuleitungsflüssigkeiten und des Blutes kann also die Quelle des Stromes in den übrigen Versuchen nicht gewesen sein. Denn alsdann hätte der Strom sich in der Kalilauge umkehren müssen. Es müfste also der Strom in der Berührung des Blutes und der Wundfläche entsprungen sein. Und die Kochsalzlösung müfste sich gegen die Wundfläche gleich dem Blute verhalten, da in der Lösung auch nicht blutende Wunden als positiv erkannt worden sind. Wie aber soll wohl die Wundfläche sich so stark positiv gegen das Blut verhalten, dafs dadurch der Strom zwischen Blut und Kalilauge überwältigt wird?

Ich enthalte mich jeder weiteren Erörterung über diese dunklen Erscheinungen, indem ich mich wiederholt bescheide, mich in dem Labyrinth der menschlichen Hautströme zurechtzufinden.

Schliefslich habe ich versucht, das elektromotorische Verhalten der Schleimhaut des Mundes und der Oberhaut auszumitteln. Dabei war stets das eine Zuleitungsgefäfs mit einem Bausch versehen, den ich mit der Zungenspitze berührte, während der Körpertheil, dessen Verhalten zur Zunge ermittelt werden sollte, in das andere Gefäfs getaucht wurde. In Kochsalzlösung verhielt sich die Zunge stark positiv gegen Finger, Handsohle, Handrücken und ganze Hand, negativ aber gegen den Elbogen. Die Richtung der Ströme zeigte sich unabhängig von der Reihenfolge des Eintauchens. In Brunnenwasser wurde die Zunge nur mit Handsohle, Handrücken und Elbogen geprüft. Das Ergebnifs war in Bezug auf die Richtung der Ströme einerlei mit dem in der Kochsalzlösung. Dabei folgten sich im Wasser die Ströme der Stärke nach in der Ordnung, wie sie genannt sind. In der Lösung ist die Stromstärke nicht Gegenstand der Aufmerksamkeit gewesen.

Digitized by Google

Man könnte, mit Hintansetzung des Ergebnisses am Elbogen, aus diesen Versuchen den Schlufs ziehen wollen, dafs die Schleimhaut des Mundes sich positiv verhält gegen die Oberhaut. Die natürliche Schleimhaut würde gewissermafsen, entsprechend der Lehre der allgemeinen Pathologie, dadurch ihre Verwandtschaft mit der künstlichen Schleimhaut bekunden, wie eine eiternde Wundfläche sie darbietet. Diese Vorstellungsweise scheint um so näher zu liegen, als die Mundschleimhaut und die Wundfläche beide alkalisch reagiren. Alexandre Donné hat bekanntlich behauptet, dafs, wenn man von den Platinenden des Multiplicators das eine der Mundschleimhaut, das andere der Oberhaut anlege, die Nadel einen im Draht von der sauren Oberhaut zur alkalischen Schleimhaut gerichteten Strom angebe.[1] Immer von demselben Gesichtspunkt aus könnte dieser Donné'sche Versuch scheinen, zu dem unsrigen in demselben Verhältnifs zu stehen, wie die Becquerel'sche Anordnung der Säure-Alkali-Kette, wo die Platinenden unmittelbar in die ungleichartigen Flüssigkeiten tauchen, zu der bekanntlich einen entgegengesetzten Strom liefernden, wo die Platinenden in zwei Gefäfse mit Kochsalzlösung tauchen, zwischen denen die ungleichartigen Flüssigkeiten eingeschaltet sind (S. oben S. 268).

Indessen würde diese Schlufsfolge voreilig sein. Es ist vielmehr nicht zu übersehen, dafs die Zunge in den obigen Versuchen sich völlig der Brusthaut ähnlich verhalten hat. Auch gegen die Brust, wie gegen die Zunge, verhielt sich in Kochsalzlösung der Elbogen positiv, statt negativ, wie die anderen Hautstellen. Es mufste also zuerst das elektromotorische Verhalten von Brust und Zunge gegeneinander untersucht werden. Bei der Ableitung des Stromes mit Bäuschen von beiden Hautstellen, auf die oben S. 222 beschriebene Art, schienen sich beide gleichartig zu verhalten. Als aber an der Brust die Ableitung mittelst des Brustgefäfses geschah, verhielt sich die Zunge erst sehr schwach positiv, dann ganz entschieden, wenn auch noch immer nicht stark, negativ gegen die Brust. Hingegen die oben S. 267 erwähnten Blasenpflasterwunden an meinem Unterarm verhielten sich auf das stärkste positiv gegen die Brust, und die Zunge selber gegen die Wunden war so stark negativ, dafs die Nadel des Multiplicators für den Muskelstrom gegen die Hemmung geführt würde. Es scheint also nicht, als ob man in der angegebenen Art die Mundschleimhaut mit einer Wundfläche elektromotorisch gleich stellen dürfe.

[1] Annales des Sciences naturelles. Seconde Série. 1834. t. I. Zoologie p. 125;* — Annales de Chimie et de Physique. Décembre 1834. t. LVII. p. 405.* — Becquerel, Traité expérimental de l'Électricité et du Magnétisme. t. IV. Paris 1836. p. 300.* — Vergl. oben Bd. I. S. 26. 111. 487.

Digitized by Google

8. Von den im lebenden menschlichen Körper durch Muskelzusammenziehung hervorgebrachten Strömen.

(1) Einleitung.

Wir sind jetzt hinlänglich vertraut mit den Mitteln, elektrische Ströme von der Oberfläche des lebenden menschlichen Körpers abzuleiten, und den elektromotorischen Erscheinungen, die sich dabei kundgeben während die Muskeln in Ruhe sind. Wir schreiten nunmehr zu der Untersuchung, ob diese Erscheinungen durch die Zusammenziehung der Muskeln eine Veränderung erleiden, die als der Ausdruck der negativen Schwankung des Muskelstromes angesehen werden könne. Vorher wird es zweckmäfsig sein, uns einige Begriffe klar zu machen, die bisher nur oberflächlich und im Vorübergehen haben berührt werden können.

Es ist oben S. 238 erinnert worden, dafs, abgesehen von dem Zustande der parelektronomischen Schicht, dem Widerstande der Oberhaut und der Nebenschliefsung durch die Lederhaut, und allein vermöge der Anordnung der Muskeln, der Muskelstrom an den Gliedmafsen unterhalb einer gewissen Grenze, in jeder beliebigen Stärke mit Einschlufs der Null vorhanden sein könne. Ebenso kann er sowohl auf- als absteigend sein. Die negative Schwankung des Muskelstromes hängt ihrer Richtung nach ab von der Richtung des ruhenden Stromes, der sie, wie ihr Name ausdrückt, eben stets entgegengesetzt ist. Ihrer Gröfse nach mufs sie der Stärke des ruhenden Stromes stets proportional sein, in sofern diese Stärke bedingt wird durch die Anordnung der Muskeln, den Widerstand der Oberhaut, die Nebenschliefsung durch die Lederhaut. Allein diese Proportionalität wird dadurch aufgehoben, dafs die parelektronomische Schicht, mit ihren negativen Kräften von veränderlicher Gröfse, wie wir oben S. 147 gefunden haben, keinen Antheil nimmt an der negativen Schwankung. Die Kräfte dieser Schicht scheinen vielmehr bei der Zusammenziehung beständig zu bleiben, während die übrige, positiv wirkende Masse des Muskels in die negative Schwankung verfällt. Die Folge davon ist, dafs ein Muskel mit natürlichem Querschnitt während der Ruhe äufserst schwach wirksam, ja unwirksam, bei der Zusammenziehung dagegen stark negativ wirksam sein kann, und dafs daher auch die negative Schwankung selbst dann noch sichtbar werden kann, wenn sich Nebenschliefsungen und Widerstände der Wahrnehmung des ruhenden Stromes widersetzen.

Wir haben an den Gliedmafsen des lebenden menschlichen Körpers beständige Ströme meist in aufsteigender Richtung entdeckt. Von einigen dieser Ströme haben wir bereits ausgemacht, dafs sie nicht aus den

Digitized by Google

Muskeln stammen, sondern Hautströme sind. Sie haben bei der Prüfung in verschiedenen Zuleitungsflüssigkeiten ihre Richtung nicht bewahrt. Nichtsdestoweniger haben wir die Möglichkeit offen lassen müssen, dafs diese Ströme einen Antheil in sich bergen, der dem Muskelstrom angehört. Hätten wir am Menschen, wie am Frosch, ein Mittel ausfindig gemacht, die Hautungleichartigkeiten zu zerstören, hätte sich z. B. die Kalihydratlösung, wie es einen Augenblick den Anschein hatte, zu diesem Behuf tauglich gezeigt, so würde es uns auch am Menschen vielleicht, wie am Frosch, gelungen sein, jenen Antheil rein darzustellen. Jetzt aber bietet sich uns dazu, in der Beobachtung der Ströme der Gliedmafsen während der Thätigkeit der Muskeln, ein neues und wirksames Mittel dar. Es ist klar, enthalten jene Ströme einen Antheil, der von den Muskeln herrührt, so mufs dieser Antheil bei der Zusammenziehung in die negative Schwankung verfallen. Diese Schwankung wird sich als eine Verminderung sowohl, wie auch als eine Vermehrung des Hautstromes kundgeben können, je nachdem der Muskelstrom dem Hautstrom gleich oder entgegengesetzt gerichtet ist. Gelingt uns die Beobachtung einer solchen Veränderung des Hautstromes bei der Zusammenziehung, und unter Umständen, wo sie nur als der Ausdruck der negativen Schwankung betrachtet werden kann, so können wir aus dem Sinn der Veränderung also leicht die Richtung des ruhenden Stromes entnehmen. Nicht so mit seiner Gröfse. Die Gröfse der negativen Schwankung würde sich, wegen der parelektronomischen Schicht, selbst dann nicht vorhersehen lassen, wenn wir mit Bestimmtheit wüfsten, ein wie grofser Bruchtheil des Stromes der ruhenden Gliedmafse aus den Muskeln stammt. Umgekehrt können wir also auch aus der etwa beobachteten Gröfse der negativen Schwankung keinen Schlufs auf die Gröfse jenes Bruchtheils ziehen. Die Schwankung könnte sogar aufserordentlich grofs sein im Verhältnifs zum Strom der ruhenden Gliedmafse, und wir dürften nicht einmal schliefsen, dafs jener Bruchtheil ein irgend merklicher gewesen sei.

Dies ist die theoretische Grundlage der bevorstehenden Untersuchung, bezüglich auf die Fälle, wo die bei ruhenden Muskeln beobachteten Ströme bereits zurückgeführt sind auf blofse Hautströme. Dies ist jedoch, wie man sich erinnert, noch nicht überall geschehen. Die Ströme von Hand und Fufs zur Brust haben die erste Probe bestanden, die ein Strom bestehen mufs, um für den Muskelstrom gelten zu können. Sie haben, in den verschiedenen Zuleitungsflüssigkeiten, keinen Unterschied ihrer Erscheinungsweise erkennen lassen, der nicht einfach auf einen Unterschied des Widerstandes gedeutet werden könnte. Um die Erörterung über die Hautströme, so gut es angeht, zu Ende zu führen, haben wir uns zwar oben S. 245 gezwungen gesehen, den Ergebnissen der fol-

Digitized by Google

genden Untersuchung vorzugreifen, wodurch auch die Ströme von Hand und Fuſs zur Brust in das Gebiet der reinen Hautströme verwiesen werden. Dies wollen wir indeſs jetzt als nicht geschehen betrachten. Wir wollen uns auf den Standpunkt zurückversetzen, auf dem wir uns daselbst befanden. Wir denken uns, wir schwebten noch in Ungewiſsheit darüber, ob nicht jene Ströme wirklich der Muskelstrom seien. Indem wir also jetzt darauf ausgehen, die Veränderung dieser Ströme bei der Zusammenziehung zu beobachten, betreten wir für sie zugleich den zweiten der beiden Wege, die oben S. 239 angegeben wurden, um zu entscheiden, ob ein Strom der Muskelstrom sein könne, oder ob er nur ein Hautstrom sei. Ist der Strom von Hand und Fuſs zur Brust der Muskelstrom, so muſs er bei der Zusammenziehung eine angemessene negative Schwankung seiner Stärke wahrnehmen lassen. Läſst er eine solche Schwankung vermissen, so kann er der Muskelstrom nicht sein.

Doch ist dies nicht so zu verstehen, als ob aus dem Erscheinen der negativen Schwankung in angemessener Gröſse nun auch mit Bestimmtheit folge, daſs der fragliche Strom der Muskelstrom sei. Man denke sich, neben einem aufsteigenden Hautstrom, einen gleichfalls aufsteigenden Muskelstrom in der Gliedmaſse vorhanden, aber durch die negativen Kräfte der parelektronomischen Schicht vollständig aufgewogen, so daſs kein merklicher Bruchtheil davon nach auſsen gelangt. Es hat keine Schwierigkeit, sich vorzustellen, daſs die negative Schwankung dieses Muskelstromes bei der Zusammenziehung gerade so groſs ausfalle, als sie sein müſste, wäre der Hautstrom ein Muskelstrom, und in negativer Schwankung begriffen. Diese letztere Bemerkung steht übrigens hier nur der Vollständigkeit halber. Wir werden keine Gelegenheit finden, sie anzuwenden. Der Strom von Hand und Fuſs zur Brust läſst erwähntermaſsen bei der Zusammenziehung keine negative Schwankung von angemessener Gröſse erkennen.

Was die Verfahrungsart bei den Versuchen betrifft, so sieht man leicht, daſs wir uns hier, um Spuren der negativen Schwankung des Muskelstromes aufzufassen, in weit höherem Grade durch die Umstände begünstigt finden, als dies bei der Erforschung des ruhenden Stromes der Fall war.

Erstens werden wir die Leichtigkeit haben, die Hautströme durch die Methode der Compensation aus dem Spiel zu bringen, indem wir nämlich die Ableitung an symmetrischen Hautstellen, und dann die Zusammenziehung nur einseitig vornehmen. Also z. B. wir tauchen beide Hände ein, lassen die Nadel unter dem Einflusse des Eigenstromes dem Nullpunkt nahe zur Ruhe kommen, und ziehen dann die Muskeln des

Digitized by Google

einen Armes zusammen. Findet dabei eine elektromotorische Wirkung statt, so trifft sie die Nadel in der günstigsten Lage, damit sie möglichst stark abgelenkt werde. Es sind keine heftigen Ströme vorhanden mit starken Ladungen, durch deren leicht schwankende Gröfse man Gefahr liefe getäuscht zu werden. Mit einem Worte, diese Versuchsweise ist geeignet, uns einigen, wenn auch nicht vollen Ersatz zu bieten für das Hinderniſs, welches für die Untersuchung hier im Allgemeinen aus dem bereits beklagten Umstand erwächst, daſs es uns nicht gelungen ist, am Menschen, wie am Frosch, ein Mittel zur Vernichtung der Hautströme ausfindig zu machen.

Allein selbst in dem Falle, wo wir, auf jene Versuchsweise verziehtend, uns bequemen müssen, bei Gegenwart der ungeschwächten Hautströme auf die Spur der negativen Schwankung zu fahnden, sind wir hier doch viel günstiger gestellt, als bei der Aufsuchung des ruhenden Muskelstromes. Zwar wenn wir uns jetzt damit begnügten, die vorigen Versuche mit dem einzigen Unterschiede zu wiederholen, daſs wir die Glieder statt wie bisher mit erschlafften, mit angespannten Muskeln in die Gefäſse tauchten, in diesem Falle würde unstreitig die negative Schwankung des Muskelstromes demselben Schicksale verfallen wie der ruhende Strom selber. Sie würde sich verlieren in dem Gedränge der durch die Hautungleichartigkeiten bedingten heftigen Nebenwirkungen. Allein es liegt wohl nichts näher als die Einsicht, daſs wir uns hier desselben Kunstgriffes zu bedienen haben, der uns schon bei der ersten Entdeckung der negativen Schwankung des Muskelstromes am Gastroknemius des Frosches so wesentliche Dienste geleistet hat. Auch hier wäre es uns schwer gewesen, den Einfluſs zu erkennen, den die Zusammenziehung auf den Strom äuſsert, wenn wir einfach den zusammengezogenen, statt wie sonst den erschlafften Muskel, in den Multiplicatorkreis eingeführt hätten. Erst nachdem uns auf anderem Wege jener Einfluſs bekannt geworden war, gelang es uns, ihn auch bei diesen Versuchen zu unterscheiden (S. oben Abth. I. S. 60). Jener andere Weg aber bestand darin, daſs wir zuerst den Strom des erschlafften Muskels im Multiplicatorkreise einen beständigen Werth annehmen liefsen. Wurde dann der Muskel in Tetanus versetzt, und es fand, wie es wirklich der Fall ist, ein Einfluſs des Tetanus auf die Stärke des Stromes statt, so muſste sich dieser Einfluſs zu erkennen geben durch eine Veränderung des Standes der Nadel, von der sich mit tausend Gründen beweisen liefs, daſs sie, gleichviel ob mittelbar oder unmittelbar, doch von nichts herrühren könne als von der Zusammenziehung des Muskels. Dies Verfahren muſste selbst dann sicher bleiben, wie es sich denn in Wahrheit auch erwies, wenn aufser dem Strom des ruhenden Muskels

Digitized by Google

selber auch noch andere Ströme, z. B. der eines zweiten Muskels, im Kreise gegenwärtig waren.

Damit ist uns nun auch hier der Weg gezeigt. Wir werden also zuerst in hergebrachter Weise die Glieder mit erschlafften Muskeln in den Multiplicatorkreis einführen. Es werden sich dabei die bekannten elektromotorischen Wirkungen kundgeben. Wir werden den Zeitpunkt abwarten, wo die Hautströme im Multiplicatorkreise beständig geworden sind. Erst dann werden wir die Zusammenziehung vornehmen. Ist sie von einer elektromotorischen Wirkung begleitet, die in den Bereich der Empfindlichkeit des Multiplicators für den Nervenstrom fällt, so kann uns diese Wirkung nicht entgehen. Sie wird mit aller Sicherheit zu beobachten sein, wofern nur dafür gesorgt ist, dafs die Hautströme bei der Zusammenziehung beständig bleiben.

Natürlich gelten diese beiden Bedingungen für die Erreichung unseres Zieles, hinlängliche Stärke der erfolgenden Wirkung und Beständigbleiben der Hautströme, auch bei der ersterwähnten Methode der Compensation. Auf die Verwirklichung dieser beiden Bedingungen kommt also jetzt Alles an.

Was die erste Bedingung betrifft, so können wir begreiflich nur soviel dazu thun, dafs wir eben die Zusammenziehung in der Weise bewerkstelligen, in der von ihr die stärkste Wirkung auf die Nadel zu erwarten steht. Die Zusammenziehung werden wir hier natürlich durch den Willen hervorbringen. Aber so wenig als wir uns bei der auf elektrischem, mechanischem, chemischem, kaustischem Wege vermittelten Zusammenziehung begnügen konnten mit einer einmaligen Zuckung (S. oben Abth. I. S. 30 ff.), so wenig wird dies hier erlaubt sein. Vielmehr wird auch hier stets die Zusammenziehung tetanisch sein müssen, d. h. der Art, dafs die Muskeln möglichst lange in möglichst starker Spannung beharren.

Doch liegt es in der Natur der Dinge, dafs dies hier nicht, wie beim Frosch, stets wird für alle Muskeln der Gliedmafsen zugleich der Fall sein können. Denn der möglichst starken Anspannung sämmtlicher Muskeln einer Gliedmafse entspricht eine bestimmte Stellung der letzteren, am Beine z. B., wegen des Uebergewichtes der Streckmuskeln, die Streckung. Es wird nun, wie man sich leicht denken kann, nicht immer zutreffen, dafs diese Stellung der Gliedmafse sich auch zugleich zur bequemen Ableitung des Stromes schickt. Diese letztere Bedingung ist aber sichtlich eine so wesentliche zum Gelingen des Versuches, dafs vielmehr sie es ist, wodurch vor Allem die Stellung der Gliedmafse bestimmt wird. Die zur Ableitung des Stromes bequemste Stellung mufs also zuerst ermittelt, und es müssen alsdann den beiden antagonistischen

Digitized by Google

Muskelgruppen solche Spannungen ertheilt werden, dafs sie in der so gegebenen Stellung einander das Gleichgewicht halten.

Hinsichtlich des zweiten Punktes, dafs nämlich die Hautströme bei der Zusammenziehung unverändert bleiben sollen, ist nach dem oben S. 222 Gesagten zunächst klar, dafs auf den Gebrauch von Bäuschen zur Ableitung der Ströme hier ganz und gar Verzicht zu leisten ist. Denn bei der Anspannung der Muskeln ändert sich die Gestalt der von den Bäuschen berührten Körperoberfläche, und die Haut verschiebt sich darunter. Es können also leicht Hautstellen der Berührung der Bäusche entzogen werden und andere zur Berührung damit kommen. Dies kann Anlafs geben zur Erzeugung von Strömen, welche um so leichter mit der negativen Schwankung zu verwechseln sind, als über die Richtung dieser letzteren, ob sie in Bezug auf einen herrschenden Hautstrom positiv oder negativ sei, gar nichts im Voraus bekannt ist. Es liegt nahe, um diesen Uebelstand zu vermeiden, die Bäusche auf irgend eine Art, z. B. mit Hülfe einer Rollbinde, so fest an die Körperoberfläche anzudrücken, dafs sich bei einer Gestaltveränderung dieser Oberfläche weder Punkte der Bäusche von der Haut ablösen, noch neue Punkte derselben damit in Berührung kommen können. Allein auch dies ist eitel, denn bei der Zusammenziehung verändert der Querschnitt der Gliedmafse nicht nur seine Gestalt, sondern auch seine Gröfse. Die dadurch bedingte Veränderung der Kraft, womit die Bäusche der Körperoberfläche angedrückt werden, reicht allein schon hin, wie oben S. 222 gesagt wurde, um starke und unregelmäfsige Ströme hervorzubringen.

Noch mehr wie bei den früheren Versuchen sind wir also bei den hier bevorstehenden auf die Methode des Eintauchens, auf den Gebrauch der gewöhnlichen Zuleitungsgefäfse, der Hand- und Fufsgefäfse, und des Brustgefäfses beschränkt. Bei diesem Verfahren genügt es, so weit wir bis jetzt urtheilen können, damit die Hautströme bei der Zusammenziehung unverändert bleiben, dafs dabei keine neuen Hautstellen benetzt werden. Es mufs also die Tiefe dieselbe bleiben, bis zu der die Finger, die Hände u. s. w. in die Zuleitungsflüssigkeit tauchen.

Um diesen Zweck, bei den verschiedenen Anordnungen, von denen wir Gebrauch machen werden, besser zu erreichen, sind verschiedene Vorkehrungen nöthig, die gehörigen Ortes beschrieben werden sollen. Abgesehen von diesen Vorkehrungen, wodurch die Stellung der Gliedmafsen bei der Zusammenziehung gesichert wird, lassen sich noch verschiedene Kunstgriffe anwenden, um selbst bei einer stattfindenden Schwankung in der Tiefe des Eintauchens doch die Höhe beständig zu erhalten, bis zu welcher die eingetauchten Theile in leitender Berührung mit der Flüssigkeit sind. Diese Kunstgriffe sind die nämlichen, die wir bereits

Digitized by Google

oben Bd. I. S. 214 ersonnen haben, um dasselbe für die Zuleitungsplatten des Multiplicators zu leisten. Man kann also die Finger in der Höhe, bis zu der sie eingetaucht sind, mit Klebäther in einer solchen Breite bestreichen, dafs bei etwaigen Schwankungen der Finger doch unmöglich jemals weder der obere Rand des Klebätherringes unter, noch der untere über die Oberfläche der Zuleitungsflüssigkeit kommen kann. Oder man kann die Bekleidung der Zuleitungsplatten nachahmen, indem man die Finger mit Fliefspapier umwickelt, welches sich mit der Lösung tränkt, und Ursach wird, dafs die Finger auch beim Herausziehen stets in gleicher Art mit der Flüssigkeit benetzt bleiben. Dasselbe läfst sich an den Händen mit gewirkten Handschuhen, an den Füfsen mit Socken erreichen.

Indessen sind nach meinen zahlreichen Erfahrungen diese künstlichen Versuchsweisen überflüssig. Es genügt vielmehr, ehe man die Zusammenziehung vornimmt, die Theile, von denen die Ableitung geschieht, etwas tiefer eingetaucht zu halten, als man es während der Zusammenziehung selber zu thun gedenkt. Wenn man dann diese Theile etwas aus der Flüssigkeit herauszieht und wieder eintaucht, jedoch so, dafs keine neue Hautstelle benetzt wird, findet keine irgend in Betracht kommende elektromotorische Wirkung statt.

Die allgemeinen hier gegebenen Regeln sind, ohne dafs es ausdrücklich gesagt werde, bei den jetzt zu beschreibenden Versuchen stets als befolgt vorauszusetzen.

Als Zuleitungsflüssigkeit bedienen wir uns zunächst nun wieder unserer gewöhnlichen, der gesättigten Kochsalzlösung.

(u) Von der elektromotorischen Wirkung des willkürlichen Tetanus an den verschiedenen Gliedmafsen des menschlichen Körpers.

Wir beginnen damit, den menschlichen Körper auf die nämliche Weise in den Multiplicatorkreis einzuführen, wie dies mit dem lebenden unversehrten Frosch zu geschehen pflegt, nämlich so, dafs die Ableitung einerseits an beiden Füfsen, andererseits am Rumpf stattfindet. Es werden also die Füfse in die mit Kochsalzlösung gefüllten Fufsgefäfse gesetzt, und die über die eine kurze Seitenwand den Fufsspitzen gegenüber in die Lösung herabhängenden Zuleitungsplatten mit dem einen Multiplicatorende verknüpft. Die Ableitung am Rumpfe geschieht allerdings nicht, wie beim Frosch, vom Rücken mit Hülfe des Sattelbausches, sondern von der Brust mittelst des Brustgefäfses. Dies pflege ich hier etwas anders anzuwenden, als früher, wo es sich darum handelte, die beständige elektromotorische Wirkung zwischen einem Punkte des Rumpfes und einem solchen der Gliedmafsen zu ermitteln. Dort mufste

Digitized by Google

man schnell, mit Ausschlufs des Körpers, die ableitende Vorrichtung mittelst eines Bausches in sich schliefsen können, um durch die Ladungen von dem Vorhandensein eines beständigen Stromes Bestätigung zu erhalten. Es geschah daher die Ableitung am Brustgefäfs in der Art, dafs das eine der gewöhnlichen Zuleitungsgefäfse durch einen Bausch mit jenem in Verbindung gebracht wurde. Hier fällt diese Verwickelung fort. Die Zuleitungsplatten können unmittelbar in das Brustgefäfs getaucht werden. Zu diesem Zweck werden sie in eine hölzerne Blechklemme eingespannt, wie sie in Fig. 88. Taf. I. Fig. 122. Taf. IV dieses Bandes abgebildet ist. Zugleich mit ihnen wird ein Streifen Blattkupfer von der Breite der Klemme, der sich über beide Platten fort erstreckt, und ein dünner übersponnener und gefirnifster Kupferdraht eingespannt. Die nach unten gewendete Fuge der Klemme wird rings um die Platten mit Kolophoniumkitt verstrichen. Die Klemme selber pafst genau in Eindrücke in den seitlichen Rändern des Brustgefäfses, welche mit der Klemme gemacht wurden, nachdem die Ränder durch heifses Wasser in den knetbaren Zustand versetzt worden. Endlich ist an dem Brustgefäfs eine Klemmschraube befestigt, an welche der von den Zuleitungsplatten herkommende Draht befestigt wird. Ein anderer langer Draht geht von dieser Klemmschraube zum anderen Multiplicatorende. Diese Einrichtung hat vor derjenigen, welche früher nöthig war, den Vortheil, dafs man dabei den Rumpf wenigstens so frei bewegen kann, als es die Rücksicht auf die Dichtigkeit des Verschlusses des Brustgefäfses verstattet (S. oben S. 234).

So ist also jetzt, gewissermafsen, das Galvani'sche Präparat des lebenden menschlichen Körpers in den Multiplicatorkreis eingeschaltet. Von den beiden Füfsen nach dem Brustgefäfs ist im Körper ein heftiger aufsteigender Strom vorhanden, der die Nadel des Multiplicators für den Nervenstrom auf 60—80° beständiger Ablenkung hält. Es kommt jetzt nur noch darauf an, dafs sämmtliche Muskeln beider Beine anhaltend in möglichst starke Zusammenziehung versetzt werden. Die bequemste Stellung dazu ist für mich diejenige, wobei ich, die Füfse in den Fufsgefäfsen, auf einem Gegenstande, z. B. einem Schraubsessel, von solcher Höhe reite, dafs die beiden Beine dabei im Kniegelenk in einen stumpfen Winkel gebeugt sind.

Sobald ich nun die Zusammenziehung vornehme, geschieht wirklich ein Ausschlag der Nadel. Durch diesen Ausschlag wird die Nadel näher an die Hemmung geführt.

Der Strom, der bei der Zusammenziehung im Bein entsteht, erscheint also als Verstärkung des bereits vorhandenen aufsteigenden Stromes, er ist selber aufsteigend. Der bereits vorhandene aufsteigende

Digitized by Google

Strom erleidet also bei der Zusammenziehung eine positive und keine negative Schwankung, geschweige eine solche von angemessener Gröfse. Er kann also der Muskelstrom nicht sein. Dies ist die Thatsache, auf deren Grund die Natur jenes Stromes als eines blofsen Hautstromes schon oben S. 245 behauptet worden ist. Wenn aber der positive Zuwachs des aufsteigenden Hautstromes bei der Zusammenziehung wirklich von der negativen Schwankung des Muskelstromes der Beine herrührt, so ist also dieser Strom in den Beinen, statt aufsteigend wie im Frosch, vielmehr absteigend.

Der Versuch gelingt natürlich auch mit nur einem Beine. Der Ausschlag fällt aber dabei noch kleiner aus. Aus dieser Kleinheit des Ausschlages beeile man sich nicht, auf eine gleiche Geringfügigkeit der Wirkung zu schliefsen, die ihm zu Grunde liegt. Vielmehr ist zu bedenken, dafs der Ausschlag in einer so hohen Breite der Theilung vor sich geht, dafs ihm, so klein wie er ist, in Bezug auf die Empfindlichkeit des Multiplicators für den Nervenstrom doch eine ganz ansehnliche elektromotorische Wirkung entsprechen dürfte.

Dies zeigt sich sogleich bei Wiederholung des Versuches in einer Gestalt, die uns jetzt wohl sehr nahe liegt. Anstatt nämlich beide Fufsgefäfse mit dem einen, und das Brustgefäfs mit dem anderen Multiplicatorende zu verbinden, lassen wir letzteres fort und verbinden von den beiden Fufsgefäfsen jedes mit einem Multiplicatorende. Jetzt stellt sich daher im Kreise, in dem die beiden Beine in entgegengesetzter Richtung eingeschaltet sind, ein mehr oder weniger vollkommenes Gleichgewicht her, je nach dem ein schwächerer oder stärkerer Eigenstrom der Füfse vorhanden ist. Die Anordnung ist in Bezug auf den menschlichen Körper völlig dieselbe als die oben S. 185 beschriebene in Bezug auf den Frosch. Sie ist, für die Beine, die Verwirklichung des oben S. 278 entworfenen Versuchsplanes, der auf die Methode der Compensation gegründet ist.

Beim Frosch tetanisirten wir vom Rückenmark aus auf elektrischem Wege oder durch Strychnin, und mufsten daher, da jetzt nur noch das eine Bein in Starrkrampf gerathen darf, das Sitzbeingeflecht der anderen Seite zerstören. Am lebenden menschlichen Körper, wo das Tetanisiren des einen Beines durch den Willenseinflufs geschehen kann, ist zur Beschränkung dieses Einflusses auf nur das eine Bein keine weitere Vorkehrung nothwendig.

Der Erfolg des Versuches ist im Wesentlichen der nämliche wie bei den vorher beschriebenen Gestalten desselben. Es entsteht, beim Anspannen sämmtlicher Muskeln des einen Beines, ein Ausschlag, der einen in diesem Bein aufsteigenden Strom anzeigt. Da aber diesmal

Digitized by Google

der Ausschlag vom Nullpunkt oder von seiner Nachbarschaft aus entspringt, so fällt er, trotz dem weit gröfseren Widerstande des Kreises, doch viel gröfser aus, als bei der vorigen Anordnung. Er beläuft sich nun bei mir auf 40—60°.

Läfst man die Nadel zur Ruhe kommen, und spannt die Muskeln des anderen Beines an, so hat der Ausschlag die entgegengesetzte Richtung im Kreise. Spannt man beide Beine zugleich an, so müfsten sich also im Grunde ihre Wirkungen aufheben. Dies ist indefs nur selten der Fall. Meist erhält man auch so Ausschläge, allein bald in der einen, bald in der anderen Richtung, bald stark, bald schwach. Als Grund davon läfst sich angeben, dafs zwar die Wirkungen beider Beine im Augenblick der Zusammenziehung einander entgegengesetzt sind, aber weder an Gröfse gleich, noch genau in demselben Augenblick eintretend, noch endlich denselben Verlauf in der Zeit nehmend.

Dieselben Versuche, die wir so eben mit den Beinen angestellt haben, lassen sich natürlich auch mit den Armen anstellen. Es bleiben alle Vorkehrungen die nämlichen, nur dafs an Stelle der Fufsgefäfse die Handgefäfse treten.

Bei dieser Versuchsweise ist jedoch die äufserste Obhut zu verwenden darauf, dafs man nicht getäuscht werde durch die in der vorletzten Nummer (6) beschriebene räthselhafte Wirkung, vermöge welcher die zur Faust geballte Hand sich stark positiv verhält gegen die schwach gebeugte, und viel weniger negativ als diese gegen die Brusthaut. Da es nicht möglich ist, bei geballter Faust die Muskeln des Unterarmes anzuspannen, ohne dabei die Kraft zu verändern, mit der man die Hand zur Faust ballt, so mufs man den Versuch mit schwach gebeugten Fingern anstellen. Daraus entspringt jedoch ein namhafter Uebelstand. Man fühlt nämlich durchaus, beim Anspannen sämmtlicher Muskeln der Arme, das Bedürfnifs eines Stützpunktes für die Hände, und es ist unglaublich, wie viel bei diesen Versuchen darauf ankommt, dafs die gröfste Sicherheit und Bequemlichkeit für die vorzunehmende Muskelanstrengung obwalte. Zuerst hatte ich in folgender Weise gesucht, diesem Bedürfnifs abzuhelfen. Von einander gegenüberliegenden Punkten des Randes des Handgefäfses liefs ich in's Innere desselben zwei Oesen hinabhängen, die aus einem starken Strang von Guttapercha gebogen waren. In diesen Oesen ruhten die Enden eines gefirnifsten runden Holzstabes von etwa 30^{mm} Durchmesser, dessen Axe also in einem Durchmesser einer wagerechten Querebene des Gefäfses in einiger Höhe über dem Boden zu liegen kam. Diese Stäbe in beiden Gefäfsen ergriff ich mit den Händen, und so liefs sich die Anspannung sämmtlicher Armmuskeln sehr schön vollführen. Allein gerade bei

Digitized by Google

dieser Gelegenheit wurde ich auf die Beobachtung der elektromotorischen Wirkung beim Faustballen geführt. Es mufste also diese sonst so vortheilhafte Versuchsweise aufgegeben werden. Am besten würde sie vielleicht zu ersetzen sein dadurch, dafs man im Inneren des Gefäfses einen Stab von nur etwa 10^{mm} Durchmesser in derselben Art anbrächte, wie vorher den dickeren, und die Hand darauf mit Daumen und Zeigefinger rittlings stützte.

Ich habe dies Verfahren nicht in's Werk gesetzt, sondern mich damit begnügt, die Spitzen der vier ersten Finger auf den Boden des Gefäfses zu stützen. Dabei stelle ich die Gefäfse in solcher Höhe auf, dafs ich, entweder im Stehen oder im Sitzen, bei erschlafft herabhängenden Armen den Boden der Gefäfse leicht mit den Fingern erreichen kann. So läfst sich das Anspannen sämmtlicher Muskeln der Arme mit ziemlicher Bequemlichkeit und Sicherheit bewerkstelligen.

Der Erfolg des Versuches mit den Armen ist in jeder Hinsicht der nämliche wie mit den Beinen. Verbindet man das Brustgefäfs mit dem einen und das eine oder beide Handgefäfse mit dem anderen Multiplicatorende, so hat man einen starken aufsteigenden Strom dauernd im Kreise, und dieser Strom wird beim Anspannen sämmtlicher Armmuskeln verstärkt.

Es gelten folglich hier dieselben Schlufsfolgerungen, die oben S. 284 aus dem Ergebnifs des Versuches mit den Beinen gezogen wurden. Da der Strom von der Hand zur Brust eine angemessene negative Schwankung vermissen läfst, so ist er nicht der Muskelstrom, er kann nur ein Hautstrom sein. Ist aber die elektromotorische Wirkung, die den willkürlichen Tetanus der Arme begleitet, der Ausdruck der negativen Schwankung des Muskelstromes der Arme, so mufs dieser Strom im Arm wie im Bein absteigend sein.

Läfst man das Brustgefäfs fort, und verbindet jedes der beiden Handgefäfse mit dem einen Multiplicatorende, so herrscht annähernd Gleichgewicht im Kreise, und beim Anspannen des einen Armes erfolgt ein Ausschlag von 40—60°, der für beide Arme die entgegengesetzte Richtung hat, indem er stets einen in dem angespannten Arme aufsteigenden Strom anzeigt. Spannt man beide Arme zugleich an, so erhält man, wie oben von den Beinen, der Gröfse und Richtung nach unregelmäfsige Ausschläge, in denen sich der Widerstreit der in beiden Armen aufsteigenden Ströme zu erkennen giebt.

Ueber die Gestalt des Versuches, wobei man die Hände in den Handgefäfsen hat, mufs ich im Allgemeinen bemerken, dafs sie mir stets, ich weifs nicht recht warum, als höchst unbequem erschienen ist. Nach meinem Gefühl lassen sich bei der Stellung des Körpers und der Arme,

Digitized by Google

die durch die übrige Anordnung geboten ist, die Muskelkräfte der Arme nicht recht entfalten. Ich gebe daher entschieden den Vorzug der folgenden Versuchsweise, obschon dabei der Widerstand des Kreises freilich gröfser ist.

An Stelle der Hände in die Handgefäfse, taucht man einen oder mehrere Finger jeder Hand in die gewöhnlichen Zuleitungsgefäfse. Diese werden am Rande des Arbeitstisches in geringer Entfernung von einander so aufgestellt, wie man es in Fig. 147. Taf. V. abgebildet sieht, und wie es mit Vortheil in allen Versuchen geschieht, wo die Finger eingetaucht werden sollen. Es ist gleichgültig, welche Finger und wieviel eingetaucht werden. Allein es ist bei weitem am vortheilhaftesten, sich der Zeigefinger zu bedienen. Diese kann man nämlich am weitesten vorstrecken, und daher beim Gebrauch derselben am leichtesten vermeiden, dafs noch andere Punkte der Hand mit der Wand des Zuleitungsgefäfses in Berührung kommen, wodurch Ströme entstehen, sobald die Wand nicht völlig trocken ist. Um diesem Zufall um so sicherer vorzubeugen und um zu verhindern, dafs die Tiefe schwanke, bis zu der man die Finger eingetaucht hält, ist es durchaus nothwendig, dafs die Hände während der Muskelanstrengung einen Stützpunkt haben. Dies läfst sich auf verschiedene Art bewerkstelligen. Die Einrichtung, bei der ich stehen geblieben bin, sieht man in Fig. 147 abgebildet.

Zur Seite der Zuleitungsgefäfse, nach aufsen von denselben, sind am Rande des Tisches Zwingen angeschraubt. Diese Zwingen sind aus einem einzigen Stück geschnitzt. In ihrem Rücken läuft ein drehrunder Stab senkrecht auf und nieder, und läfst sich mittelst Klemmschrauben in jeder Höhe feststellen. Jeder dieser Stäbe trägt ein Stück, welches einer Wetterfahne nicht unähnlich sieht. In dem Blatt der Fahne ist aber ein kreisförmiges Loch von etwas mehr als 32^{mm} Halbmesser ausgeschnitten, so dafs das Blatt einen Ring vorstellt. Die Fahnen sind senkrecht auf den Rand des Tisches gestellt, mit ihren Ringen nach dem Tisch hinsehend. Durch die Ringe geht ein runder Stab von 43^{mm} Länge und 32^{mm} Durchmesser und ist mit Leichtigkeit darin drehbar. Knöpfe an seinen beiden Enden verhindern, indem sie gegen die Ringe stofsen, dafs der Stab sich in der Richtung seiner Axe verschiebe. Der Stab wird wagerecht vor der Front der Zuleitungsgefäfse aufgestellt, seine Axe etwas über ihrem Rande, und so nahe an dieselben, dafs, wenn man sich die cylindrischen Gefäfse in die Höhe fortgesetzt denkt, ihr Umfang den des Stabes gerade berühren würde. Man setzt sich an den Tisch, fafst den Stab mit beiden Händen, und indem man ihn, in seiner oberen Hälfte, von sich abdreht, taucht man die Zeigefinger in die Zuleitungsgefäfse ein.

Digitized by Google

Der Elbogen wird beim Anspannen etwas in die Höhe gehoben (S. die Fig.). Die Finger dürfen den Grund der Gefäfse berühren. Es tauchen dabei die beiden letzten Fingerglieder in die Lösung ein. So befindet man sich, nach meinem Gefühl, wie auch nach dem der zahlreichen Personen, welche diesen Versuch unter meiner Leitung angestellt haben, in einer überaus bequemen Lage, um die verschiedenen Muskelgruppen des Armes in die heftigste Spannung zu versetzen, welche die Stellung des Armes zuläfst (S. oben S. 280), ohne dafs man irgend Gefahr liefe, dabei die Tiefe des Eintauchens zu verändern, oder die Zuleitungsgefäfse mit neuen Punkten der Hand zu berühren.

Ist jedes der beiden Zuleitungsgefäfse mit einem Multiplicatorende verbunden, die Nadel unter dem Einflusse des Eigenstromes in gröfserer oder geringerer Nähe des Nullpunktes zur Ruhe gekommen und man spannt die Muskeln des einen Armes an, so entsteht sofort ein Ausschlag, der einen aufsteigenden Strom in dem Arm anzeigt, wie wir ihn bereits bei Anwendung der Handgefäfse beobachtet haben. Der Ausschlag fällt auch, trotz des grofsen Widerstandes des Kreises, nicht viel kleiner aus, weil eben die Anordnung eine so sehr viel bequemere ist für die Entfaltung der Muskelkräfte der Arme. Er beträgt 30—40, ja sogar 50°. Das Ergebnifs der gleichzeitigen Anspannung der Muskeln beider Arme ist das nämliche wie bei Anwendung der Handgefäfse. Mit dem Brustgefäfs als dem einen, und dem einen oder beiden Zuleitungsgefäfsen als dem anderen Multiplicatorende, habe ich den Versuch nicht angestellt. Es ist aber keine Frage, dafs er im Wesentlichen denselben Erfolg liefern würde, wie bei Anwendung der Handgefäfse statt der gewöhnlichen Zuleitungsgefäfse.

Wir haben nun die elektromotorische Wirkung des willkürlichen Tetanus in den oberen und in den unteren Gliedmafsen des menschlichen Körpers erkannt. Es giebt eine bequeme Art, bei einer und derselben Anordnung beide Versuche anzustellen. Sie besteht einfach darin, die beiden Füfse in die beiden Fufsgefäfse zu tauchen, die mit dem einen Multiplicatorende verknüpft sind, die beiden Hände aber in die beiden Handgefäfse, die mit dem anderen Multiplicatorende in Verbindung stehen. Dabei erhält man, wie man sich erinnert, einen starken Strom, der bei Anwendung der gesättigten Kochsalzlösung als Zuleitungsflüssigkeit im Bein manchmal aufsteigend, meist jedoch, und namentlich bei längerer Dauer des Eintauchens, fast stets absteigend ist (S. oben S. 236). Gleichviel welcher Strom herrsche, ist er im Multiplicatorkreis beständig geworden, und man spannt die Muskeln der Beine an, so erfolgt ein in den Beinen aufsteigender, in den Armen absteigender Ausschlag. Der Ausschlag hat die umgekehrte Richtung, wenn man die Muskeln der

Digitized by Google

Arme anspannt. Der in Bezug auf die herrschende Strömungsrichtung negative Ausschlag ist dabei natürlich der gröfsere. Ist z. B. der Strom in den Beinen absteigend, und die Nadel verweilt beständig auf etwa 60°, so kann es geschehen, dafs sie beim Anspannen der Armmuskeln auf 80°, beim Anspannen der Beinmuskeln auf — 40° getrieben wird. Man kann den Versuch auch nur mit einem Arm und einem Bein anstellen. Der Erfolg ist im Wesentlichen derselbe, nur dafs die Wirkung etwas kleiner ausfällt. Man könnte auch den Versuch mit beiden Armen und Beinen noch dahin abändern, dafs man das eine Hand- und das eine Fufsgefäfs mit dem einen, das andere Hand- und das andere Fufsgefäfs mit dem anderen Multiplicatorende verknüpfte. Dabei müfste sich bei ruhenden Muskeln ein leidliches Gleichgewicht im Kreise herstellen, nach demselben Grundsatze, der uns im Beginn unserer Untersuchung dazu geführt hat, zwei Zuleitungsplatten statt einer an jedem Multiplicatorende anzubringen (S. oben Bd. I. S. 207). Dann würden die Wirkungen bei der Zusammenziehung die Nadel in der Nähe des Nullpunktes treffen und auf beiden Seiten gleichmäfsiger werden. Ich habe diesen Versuch, der nichts Neues lehren konnte, indefs nicht ausgeführt.

Von gröfserer Wichtigkeit war es, jetzt noch den Versuch zu machen, die Wirkung der einzelnen Abtheilungen der Gliedmafsen beim Anspannen ihrer Muskeln von einander zu trennen, also die Wirkung vom Oberarm, dem Unterarm, dem Oberschenkel und dem Unterschenkel einzeln zu beobachten.

Es giebt dazu offenbar zwei Wege. Der eine besteht darin, während man die ganzen Gliedmafsen in den Kreis einführt, nur die einzelnen Abtheilungen derselben zusammenzuziehen. Der andere besteht darin, zwar die ganzen Gliedmafsen zusammenzuziehen, aber den Strom nur von ihren einzelnen Abtheilungen abzuleiten.

Ich habe von beiden Wegen Gebrauch gemacht. An den oberen Gliedmafsen nämlich gelingt es mir nicht, den Willenseinfluls gehörig entweder auf den Ober- oder auf den Unterarm einzuschränken. Allenfalls gelingt mir dies für den Oberarm. Wenn ich aber die Unterarmmuskeln anspanne, spanne ich auch immer zugleich die Oberarmmuskeln an. Hier habe ich daher suchen müssen, das zweite Verfahren in's Werk zu setzen, d. h. den Strom von dem Oberarm oder dem Unterarm allein abzuleiten, während ich alle Muskeln des Armes ohne Unterschied in Tetanus versetzte. An den Beinen dagegen vermag ich, wenn ich sitze, den Oberschenkel und den Unterschenkel gesondert anzuspannen, und hier kann also der erste Weg eingeschlagen, d. h. der Strom nach wie vor vom ganzen Bein abgeleitet, und nur die Zusammenziehung jedesmal auf die einzelne Abtheilung der Gliedmafse ein-

Digitized by Google

geschränkt werden. Es ist ein glücklicher Umstand, dafs dies angeht; denn es würde nicht leicht sein, am Bein das erste Verfahren in's Werk zu setzen, d. h. den Strom allein vom Oberschenkel oder vom Unterschenkel abzuleiten.

Es tauche also jetzt wieder, bei sitzender Stellung des Körpers, der eine Fufs in das eine Fufsgefäfs, welches mit dem einen Multiplicatorende verknüpft ist, und das andere Multiplicatorende sei in Verbindung entweder mit dem anderen Fufsgefäfse, oder mit einem der Handgefäfse, oder mit dem Brustgefäfse. Nach Beruhigung der Nadel wird nur entweder der Ober- oder der Unterschenkel angespannt. Der Erfolg ist der Richtung nach der nämliche, wie beim Anspannen des ganzen Beines. Aber der aufsteigende Ausschlag, der somit in beiden Fällen erfolgt, ist, wie sich erwarten liefs, merklich schwächer, als bei gleichzeitiger Anstrengung sämmtlicher Beinmuskeln.

Sogar bei Zusammenziehung einer einzelnen Muskelgruppe des Oberschenkels giebt sich eine elektromotorische Wirkung zu erkennen. Man kann nämlich im Stehen, indem man sich vorzugsweise auf das eine Bein stützt, und das andere, dessen Fufs im Fufsgefäfs befindlich ist, gestreckt vor sich hinsetzt, an diesem die Gruppe des Rectus femoris, Cruralis, Vastus internus und Vastus externus, und meist wohl auch des Tensor fasciae latae, in die heftigste Spannung versetzen, indefs alle übrigen Muskeln in vollkommener Erschlaffung verharren. Auch dabei erfolgt ein im Bein aufsteigender Ausschlag, der sich in günstigen Fällen auf 30° beläuft.

Mehrmals, wenn ich diesen Versuch öfter hintereinander wiederholte, bekam ich einen Krampf in der bezeichneten Muskelgruppe, so dafs die Zusammenziehung, abgesehen von dem ersten Anstofs, ganz unwillkürlich vor sich ging und einige Zeit sehr schmerzhaft anhielt, um sich zuletzt in eine Reihe immer schwächer werdender Zuckungen aufzulösen. Auch bei dieser unwillkürlichen Anspannung der Muskeln zeigte sich der im Bein aufsteigende Ausschlag.

Um den bei der Zusammenziehung entstehenden Strom allein von dem Oberarm abzuleiten, wird der Elbogen des betreffenden Armes in das eine Handgefäfs getaucht. Die Ableitung auf der anderen Seite geschieht entweder durch das Brustgefäfs, oder durch die Hand oder den Elbogen in dem anderen Handgefäfse, oder durch einen oder beide Füfse in den Fufsgefäfsen, genug wie man will. Ist die Nadel beruhigt, so werden sämmtliche Armmuskeln, mit Inbegriff der Muskeln des Unterarmes, angespannt. Dabei darf natürlich der Beugungszustand des Elbogengelenkes, oder der Dehnungszustand der Haut des Elbogens nicht verändert werden, damit sich nicht die elektromotorische Wirkung wegen Ausdehnung der Haut in das Ergebnifs einmische (S. oben S. 261). Der

Digitized by Google

Erfolg ist auch hier ein stets in dem angespannten Oberarm aufsteigender Ausschlag, der in günstigen Fällen eine ansehnliche Gröfse, bis 40°, erreichen kann.

Endlich, um nun auch dem Unterarm allein beizukommen, verfahre ich folgendermafsen. Das eine Multiplicatorende wird mit dem einen Fingergefäfs, das andere mit dem einen Handgefäfs verbunden. Das Fingergefäfs wird am Rande des Tisches hinter dem mit der Hand zu fassenden Stabe gerade so aufgestellt, wie es oben S. 287 für beide Fingergefäfse angegeben, Fig. 147 Taf. V abgebildet ist. Vor dem Stabe wird das eine Handgefäfs in solcher Höhe und Entfernung aufgestellt, dafs, wenn man nun mit der Hand den Stab ergreift und den Finger in das Fingergefäfs taucht, man mit Bequemlichkeit zugleich den Elbogen in das Handgefäfs tauchen kann. Begreiflich mufs dazu der Spiegel der Lösung in dem Handgefäfs um eine passende Gröfse tiefer liegen als der in dem Fingergefäfs. Beim Schliefsen des Kreises entsteht ein starker aufsteigender Strom im Vorderarme (S. oben S. 233). Hat sich die Nadel beruhigt, und man spannt sämmtliche Muskeln des Armes an, so erfolgt ein aufsteigender Ausschlag, zwar nicht sehr grofs, doch so, dafs nie ein Zweifel darüber übrig bleibt.

(m) Von der elektromotorischen Nachwirkung des willkürlichen Tetanus an den Gliedmafsen des menschlichen Körpers.

Wir haben nunmehr an Arm und Bein, Ober- und Unterschenkel, Ober- und Unterarm, Ströme kennen gelernt, welche in dem Augenblick auftreten, wo sämmtliche Muskeln dieser verschiedenen Glieder und Gliederabtheilungen in heftige Zusammenziehung gerathen. Wir haben aber bisher an diesen Strömen erst zweierlei beachtet; erstens ihre Richtung, die wir überall dieselbe, nämlich aufsteigend, gefunden haben, zweitens ihre verhältnifsmäfsige Stärke, so weit sie sich nach der Gröfse der Ausschläge beurtheilen läfst. Es ist jetzt an der Zeit, dafs wir einem anderen Punkte in der Erscheinungsweise dieser Ströme unser Augenmerk zuwenden.

Es ist bisher stets nur die Rede gewesen von Ausschlägen durch jene Ströme, nicht von beständigen Ablenkungen der Nadel. Der Grund davon liegt auf der Hand. Er ist derselbe weshalb wir auch nie eine beständige Ablenkung durch die negative Schwankung des Stromes eines Gastroknemius, oder eines auf elektrischem Wege oder durch Strychnin tetanisirten Frosches beobachtet haben. Die Muskeln sind erschöpft und der Tetanus hat ein Ende, ehe die Nadel Zeit gehabt hat, eine neue Ruhelage anzunehmen. So auch hier. Man vermag nicht, wie

Digitized by Google

es nothwendig wäre, damit eine beständige Ablenkung zu Stande käme, sämmtliche Muskeln einer Gliedmafse mehrere Minuten lang auf dem Grad von Anspannung zu erhalten, der erfordert wird, damit eine merkliche Wirkung auf die Nadel ausgeübt werde.

Eine auffallende Erscheinung aber ist folgende. Man denke sich eine der vier Anordnungen des Versuches, wobei kein starker Hautstrom stattfindet, folglich die Nadel ursprünglich auf dem Nullpunkt oder in seiner Nähe verharrt. Diese vier Anordnungen sind die, wo entweder die beiden Füfse, oder die beiden Hände, oder die beiden Zeigefinger, oder endlich die beiden Elbogen mit den beiden Multiplicatorenden verbunden, und dem entsprechend die Beine, oder die ganzen Arme, oder auch nur die Oberarme, in entgegengesetzter Richtung in den Kreis eingeschaltet sind. Läfst man, bei solcher Gestalt des Versuches, mit der Anspannung der Muskeln nach, so schlägt die Nadel nicht, wie man erwarten sollte, durch den Nullpunkt hindurch, und zeigt jenseits die Ladungen an, die der Strom wegen des willkürlichen Tetanus entwickelt hat, sondern sie nähert sich allmälig dem Nullpunkte; oder wenn sie ihn auch in ihren Schwingungen überschreitet, so lehrt doch das Verhältnifs ihrer Ausschläge in beiden Quadranten, dafs die feste Gleichgewichtslage, um die sie schwingt, noch auf der Seite liegt, nach der sie bei der Zusammenziehung abgelenkt wurde.

Der Mangel an Ladungen kann nicht daran Schuld sein. Erstens ist kein Grund vorhanden, weshalb der Strom bei der Zusammenziehung keine entwickeln sollte; zweitens zeigt folgender Versuch, dafs er wirklich dergleichen entwickelt. Indem man zwischen den Zuleitungsgefäfsen neben dem menschlichen Körper das Schliefsungsrohr anbringt, versichert man sich der Richtung, in der die Multiplicatorenden durch den Eigenstrom geladen sind. Man spannt die Muskeln auf der Seite an, wo die Richtung ihrer Wirkung mit der jener Ladungen zusammenfällt. Entweder noch während der Anspannung oder unmittelbar nachher bringt man die gutleitende Nebenschliefsung zum Multiplicator wieder an. Alsdann erfolgt ein Ausschlag in entgegengesetzter Richtung von den Ladungen des Eigenstromes, zum Beweise, dafs der Strom bei der Zusammenziehung wirklich Ladungen entwickelt hat.

Um jene Erscheinung zu erklären, bleibt folglich nichts übrig als die Annahme, dafs der Strom wegen der Zusammenziehung, wenn auch in geschwächtem Mafse, diese selber noch etwas überdauert. Die Richtigkeit dieser Annahme ist leicht zu erweisen. Man taucht die Zeigefinger in die Fingergefäfse, während sie noch mit dem Schliefsungsrohr überbrückt sind. Nach einiger Zeit läfst man das Schliefsungsrohr abheben. Es erfolgt der Ausschlag, den wir dem Eigenstrom zuschreiben,

Digitized by Google

und der stets dieselbe Richtung und auch nahe dieselbe Gröfse behält, so oft man auch das Schliefsungsrohr wieder hinlegen und wieder abheben läfst. Hat man sich sattsam davon überzeugt, so nimmt man, nachdem das Rohr wieder eine Zeitlang aufgelegen hat, die Anspannung der Muskeln auf der Seite vor, wo der durch den Tetanus erzeugte Strom die umgekehrte Richtung vom Eigenstrom hat. Plötzlich spannt man die Muskeln wieder ab, und unmittelbar darauf läfst man das Rohr abheben. Jetzt erfolgt ein Ausschlag auf derselben Seite, auf der er beim Anspannen der Muskeln in Abwesenheit des Rohres erfolgt sein würde. Der Strom, den dieser Ausschlag erzeugt, und der also den Eigenstrom überwiegt, ist bis zu einer gewissen Grenze um so stärker, je länger die Zusammenziehung gedauert hat. Hat sie nur wenige Augenblicke gewährt, so kann er so schwach sein, dafs er nicht einmal den Eigenstrom zu besiegen, nur ihn zu schwächen vermag. Er kann aber auch, bei fortgesetzter kräftiger Anspannung, so stark werden, dafs der Ausschlag dadurch demjenigen an Gröfse wenig nachgiebt, der bei Abwesenheit des Schliefsungsrohres durch den willkürlichen Tetanus zu erfolgen pflegt. Läfst man endlich, zwischen der Abspannung der Muskeln und dem Abheben des Schliefsungsrohres, statt dafs beide dicht aufeinander folgen, eine gewisse Frist verstreichen, so fällt der Ausschlag um so kleiner aus, je gröfser die Frist war. Nach wenigen Minuten ist keine deutliche Spur mehr davon vorhanden.

Denselben Versuch habe ich mit gleichem Erfolge mit beiden Füfsen in beiden Fufsgefäfsen wiederholt. Mit den Fingern in den Fingergefäfsen ist er auch von meinem Freunde Herrn G. Kirchhoff an meinen Vorrichtungen angestellt worden.

Es ist klar, was wir von dieser Wirkung zu denken haben. Unter der Voraussetzung, dafs der beim willkürlichen Tetanus entstehende Strom der negativen Schwankung des Muskelstromes entspricht, wie wir sie am Frosch beobachtet haben, erscheint diese nachträgliche Wirkung der Zusammenziehung am menschlichen Körper offenbar als einerlei mit der Nachwirkung, die wir oben S. 151 am Gastroknemius und den Oberschenkelmuskeln des Frosches beobachtet haben. Auch diese nahm, wie man sich erinnert, an Stärke zu mit der Dauer des Tetanus. Auch sie verschwand nach einiger Zeit von selber. Beim Tetanisiren eines Gastroknemius vom Nerven aus erscheint sie freilich im Verhältnifs zur Wirkung des Tetanus selber sehr viel kleiner, als die Wirkung, die wir ihr jetzt am menschlichen Körper gleichstellen. Allein es ist nicht zu vergessen, dafs die Stärke der Nachwirkung mit der Stärke und Dauer der Zusammenziehung wächst. Das Product aus diesen Factoren fällt nun wahrscheinlich gröfser aus, wenn Muskeln im

Digitized by Google

lebenden Körper durch den Willen, als wenn sie, vom übrigen Körper getrennt, vom Nerven aus durch den elektrischen Strom tetanisirt werden. Viel näher mag der ersteren Gröfse des Products schon diejenige kommen, die beim Tetanisiren solcher Muskeln unmittelbar durch Wechselströme erreicht werden kann. Und in der That tritt auch unter diesen Umständen bereits eine so starke Nachwirkung des Tetanus auf, dafs sie der am menschlichen Körper so eben von uns beobachteten wohl vergleichbar ist. Aufserdem ist die Möglichkeit vorhanden, dafs die Nachwirkung an den Muskeln warmblütiger Thiere eine stärkere sei als an denen kaltblütiger. Es wird übrigens, in der Folge, noch einmal auf diesen Punkt zurückgekommen werden.

Der Mangel einer solchen Nachwirkung bei der durch das Faustballen u. s. w. hervorgebrachten elektromotorischen Wirkung ist der oben S. 262 verkündigte fernere Grund, weshalb diese Wirkung nicht der Muskelzusammenziehung zugeschrieben werden kann.

(IV) Weitere Bemerkungen über das Verfahren, die Ströme beim willkürlichen Tetanus der menschlichen Gliedmafsen zu beobachten.

Die eben dargelegten Thatsachen gehören nicht zu den leichter wahrnehmbaren dieses Gebietes. Damit sie mit Klarheit und in gehöriger Stärke hervortreten, müssen sich verschiedene Bedingungen vereinigen, welche nicht alle gleich leicht zu beschaffen sind. Bei dem besonderen Interesse, welches sich für Viele an jene Thatsachen zu knüpfen scheint, halte ich es nicht für überflüssig, noch einiges Nähere über diese Bedingungen mitzutheilen, und über die Bestrebungen, an denen ich es nicht habe fehlen lassen, um die in Rede stehenden Versuche minder schwer anstellbar zu machen.

Zunächst ist zu sagen, dafs die beste Gestalt des Versuches diejenige ist, wobei die beiden Finger in die beiden Fingergefäfse tauchen, deren jedes mit einem Multiplicatorende verknüpft ist. Die Wirkung fällt allerdings dabei schwächer aus, als bei mehreren anderen der oben beschriebenen Anordnungen. Allein dieser Nachtheil wird, meiner Meinung nach, reichlich aufgewogen durch die gröfsere Bequemlichkeit und Sicherheit der Versuchsweise. Diese Versuchsweise wird daher im Folgenden stets stillschweigend vorausgesetzt, wo von der Ablenkung der Multiplicatornadel durch willkürlichen Tetanus die Rede ist, ohne dafs die Art der Ableitung des Stromes vom menschlichen Körper sich näher angegeben findet. In dieser Gestalt ist beiläufig der Versuch schon früher bekannt geworden. Eine grofse Menge Physiker und Physiologen

Digitized by Google

haben sich mit seiner Wiederholung, Ausbildung und Deutung beschäftigt. Von diesen Bemühungen wird später die Rede sein.[1]

Was die Art und Weise betrifft, die Gleichartigkeit des durch den menschlichen Körper bei erschlafften Muskeln gebildeten Kreises zu erzielen und zu bewahren, und die Grenzen, bis zu welchen dies unter verschiedenen Umständen ausführbar ist, so haben wir, was darüber zu wissen nöthig ist, bereits oben S. 281 abgehandelt, insofern es nicht bereits durch den früheren Gang unserer Untersuchung gegeben war. Wir setzen also diese Seite der experimentellen Schwierigkeiten als überwunden voraus.

Demnächst liegt die wichtigste Bedingung zum Gelingen der in Rede stehenden Versuche in der Tüchtigkeit der Muskelzusammenziehung selber. Fehlt es an dieser, so hilft die Empfindlichkeit des Multiplicators nur wenig. Wenigstens versagt alsdann mein Multiplicator für den Nervenstrom leicht bereits eine deutliche Antwort. Hierin liegt eine grofse Schwierigkeit dieser Versuche, und zwar, wie nicht zu läugnen ist, gerade am meisten bei der so eben besonders empfohlenen Gestalt derselben, insofern es sich dabei nicht allein darum handelt, den einen Arm kräftig anzuspannen, sondern zugleich darum, den anderen Arm vollständig erschlafft zu lassen. Jungen Männern, die Leibesübungen getrieben haben, wird dies nicht schwer. Ich spanne den einen Arm dermafsen an, dafs die Muskeln sich hart wie Holz anfühlen, dafs der Arm heftig erzittert und der Tisch mit ihm, und dafs nach einigen Secunden ein lebhaftes Gefühl von Wärme im Arm verspürt wird. Dabei bleibt der andere Arm so schlaff als ob das Armgeflecht durchschnitten wäre. Ich thue dies beliebig mit dem einen oder anderen Arm. Mein Freund Herr G. Kirchhoff besitzt in hohem Grade dieselbe Fertigkeit. Allein dies ist nicht Jedermanns Sache beim ersten Versuch. Nicht Jeder hat ohne Weiteres die Fähigkeit, ohne eine bestimmte Handlung zu beabsichtigen, ohne einen äufseren Widerstand, den es zu bewältigen gilt, seine Muskeln willkürlich in anhaltende Spannung zu versetzen, und noch dazu die Anstrengung nach Belieben auf den einen oder den anderen Arm zu beschränken. Viele befinden sich in dem Falle, zwar den einen Arm, namentlich den rechten, genügend anspannen zu können, und vermögen auch auf ihn die Anstrengung zu beschränken. Den linken Arm dagegen glückt es ihnen nicht, in angemessene Thätigkeit zu versetzen, oder wenigstens wird dabei auch der rechte Arm in Mitbewegung gezogen.

Trotzdem ist der Versuch, unter meiner Leitung, und an meinen Vorrichtungen, jetzt bereits etwa fünfzig Personen mehr oder minder

[1] S. unten, (VI).

Digitized by Google

gut geglückt. Die meisten derselben gehörten dem gelehrten Stande an. Viele davon befanden sich in der Blüthe der Jahre, mehrere aber auch im vorgerückten, ja im Greisenalter. Auch eine junge Dame von sechszehn Jahren hat in Paris den Versuch mit Erfolg angestellt. Eine athletische Musculatur ist also zum Gelingen des Versuches kein unumgängliches Erfordernifs. Nichtsdestoweniger wird durch die Stärke und Uebung der Muskeln sein Gelingen sicherer, sein Erfolg glänzender gemacht. Und es ist sehr merkwürdig, wie viel dabei, selbst wenn diese Bedingungen erfüllt sind, noch auf den Augenblick ankommt. Die geringste körperliche Verstimmung, das leiseste Unwohlsein übt einen Einfluss aus auf die Art, wie der Versuch von statten geht.

Eine andere Bedingung, von der viel abhängt, und die auch noch dem Individuum anhaftet, welches sich dem Versuch unterzieht, ist die Leitungsfähigkeit der Oberhaut. Die Wirkungen, die zwei Individuen hervorbringen, sind begreiflich nicht ihrer elektromotorischen Leistung an sich, sondern dieser dividirt durch den Widerstand des Kreises proportional. Von der Leitung durch die Oberhaut hängt aber dieser letztere, wie man sich erinnert, vor allen Dingen ab (S. oben S. 191 ff.). Schwache Muskeln können durch feine feuchte Haut in ihrer Wirkung begünstigt, starke Muskeln hingegen durch derbe trockne Haut darin beeinträchtigt werden, und so erstere über letztere in dem Wettstreit an diesem neuen Kraftmesser gewissermafsen den Sieg erschleichen. Man versäume daher nicht, die Haut wenigstens so gut leitend zu machen als möglich, indem man die Finger vor dem Versuch sorgfältig mit Seife wäscht, dann mit Wasser abspühlt, und nur so weit abtrocknet, dafs die Haut noch durchfeuchtet (moite) in die Lösung gelangt.

Bei alledem ist ein sehr hoher Grad von Empfindlichkeit des Multiplicators kaum zu entbehren, wenn einigermafsen in die Augen fallende Wirkungen erscheinen sollen. An einem Multiplicator von 3000 Windungen, von der Arbeit des Herrn Kleiner, an dem ich in der physikalischen Sammlung in Giefsen den Versuch machte, und den ich selber aufgestellt hatte, erfolgten nur 2 — 3° Ausschlag auf jeder Seite.[1] An dem Multiplicator für den Muskelstrom, an dem ich übrigens die Erscheinung zuerst beobachtete, erhalte ich nicht mehr als 5 — 7° Ausschlag.

Ich bin deshalb, wie oben schon bemerkt wurde, darauf bedacht gewesen, eine Abänderung des Versuches ausfindig zu machen, durch die er auch minder empfindlichen Stromprüfern schon zugänglich würde.

Zuerst versuchte ich, wie sich die Stärke des Stromes vergröfsern würde, wenn ich die Polarisation so viel wie möglich aus dem Kreise

[1] S. unten, (VI).

Digitized by Google

verbannte, durch Anwendung von Kupferelektroden in gesättigter schwefelsaurer Kupferoxydlösung als Zuleitungsflüssigkeit, statt der Platinelektroden, deren wir uns für gewöhnlich zu bedienen pflegen. Die Kupferelektroden hatten 25^{mm} Breite und tauchten 50^{mm} tief in die Lösung ein. Um sie gleichartig zu erhalten, schlug ich folgenden Weg ein. In den Kreis einer Säule aus sechs Grove'schen Ketten der kleineren Art (S. oben Bd. I. S. 446) schaltete ich die beiden Zuleitungsgefäfse mit ihrer Kupferlösung als Zersetzungszellen ein, so dafs die abzugleichenden Zuleitungsplatten die negativen, zwei andere Kupferplatten die positiven Elektroden bildeten. Die letzteren waren einander ganz gleich, und befanden sich jede in gleichem Abstande von der negativen Elektrode. Die beiden Zersetzungszellen waren einander also überhaupt ganz ähnlich. Nachdem sich die Zuleitungsplatten mit einer ganz gleichmäfsigen Schicht galvanoplastischen Kupfers überzogen hatten, wurde der Kreis der Säule durch Ausheben eines Schliefsungshakens aus Quecksilber geöffnet. Die Oberflächen der negativen Elektroden mufsten sich nun in ganz gleichem Zustande befinden. Die positiven Elektroden wurden entfernt, die negativen mit dem Multiplicator für den Muskelstrom verbunden, und über die Zuleitungsgefäfse ein mit derselben Kupferlösung getränkter Bausch gebrückt. Trotz des zur Abgleichung der Platten angewendeten Kunstgriffes erfolgte hiebei doch ein beträchtlicher Ausschlag, der sogar eine beständige Ablenkung von 22° hinterliefs. Als ich aber, statt der beiden Enden des Bausches, die beiden Zeigefinger in die Gefäfse tauchte, stellte sich die Nadel dem Nullpunkt nahe ein. Bei der Zusammenziehung des einen Armes erfolgte indefs kein merklich stärkerer Ausschlag als mit den Platinelektroden in der Kochsalzlösung. Es war, durch diese Anordnung, augenscheinlich nichts gewonnen.

Eine andere Idee, auf die ich kam, geht gleichfalls darauf aus, die elektromotorische Kraft, die dem Strom bei der Zusammenziehung zu Grunde liegt, dadurch zu vergröfsern, dafs sie eine ihr entgegengesetzt wirkende Kraft der Art über die Seite schafft. Sie sucht aber diese Gegenkraft diesmal nicht in der Vorrichtung, sondern in dem menschlichen Körper selber. Sie stützt sich nämlich auf folgende Schlufsreihe. Der Strom, den man beim Anspannen eines Armes in dem Multiplicatorkreise wahrnimmt, ist zu betrachten als die Resultante der Ströme, welche die einzelnen Muskeln durch jenen Kreis senden; entweder die Muskeln des ruhenden Armes in positiver, oder die des angespannten Armes in negativer Richtung. Gleichviel welcher von diesen beiden Fällen in Wirklichkeit stattfindet, wovon später noch die Rede sein soll, es ist zwar möglich, jedoch nicht wahrscheinlich, und jedenfalls

Digitized by Google

ganz unerwiesen, dafs sämmtliche Muskeln des Armes dazu in einerlei Sinne beitragen. Es ist vielmehr weit natürlicher sich vorzustellen, dafs der eine Muskel viel, ein zweiter wenig, ein dritter gar nicht zum aufsteigenden Strom beiträgt, der sich beim Anspannen kundgiebt, dafs endlich ein vierter gar in absteigendem Sinne wirkt. Nach dieser Vorstellung würde man also stets nur den Unterschied der Ströme aller aufsteigend und aller absteigend wirksamen Muskeln an der Nadel beobachten, und es würde die Gruppe der aufsteigend wirksamen Muskeln elektromotorisch die Oberhand haben über die der absteigend wirksamen. Könnte man die Gruppe der aufsteigend wirksamen Muskeln allein anspannen, die andere aber erschlafft lassen, oder könnte man gar, indem man dergestalt verführe, noch an dem anderen Arme die Gruppe der absteigend wirksamen Muskeln anspannen, so sieht man leicht, müfste man eine Wirkung erhalten, welche die beim Anspannen aller Muskeln eines Armes um so mehr übertreffen würde, je mehr die entgegengesetzten Wirkungen beider Gruppen sich in Wirklichkeit der Gleichheit näherten.

Leider ist es nicht viel weniger unthunlich, die Gruppe der absteigend wirksamen Muskeln durch den Versuch herauszufinden, als durch die Betrachtung der Lage und des Baues der verschiedenen Muskeln. Es gelingt ja nicht einmal, allein den Oberarm, und allein den Unterarm mit der Heftigkeit anzuspannen, wie es der Versuch verlangt (S. oben S. 289), geschweige dafs man nach Belieben einzelne Muskeln dergestalt in willkürlichen Tetanus versetzen könnte. Alles, was sich in dieser Beziehung thun läfst, ist, solche Muskelgruppen, durch deren Zusammenziehung gewisse Bewegungen ausgeführt werden, dadurch vereinzelt anzuspannen, dafs man diese Bewegungen beabsichtigt. Zwei solcher Gruppen, welche fast die ganze Muskelmasse des Armes ausmachen, sind die der Strecker und Beuger. Es war die Möglichkeit da, dafs durch einen glücklichen Zufall die Vertheilung der Armmuskeln in diese beiden Gruppen der Vertheilung nach ihrer Wirkungsrichtung wenigstens annähernd entspräche, so dafs etwa sämmtliche Strecker im Verein aufsteigend, sämmtliche Beuger absteigend wirkten, oder umgekehrt. Ich versuchte daher, die elektromotorische Wirkung durch die Anspannung dieser Muskelgruppen allein zu beobachten. Dies gelang zwar, aber jene Möglichkeit bestätigte sich nicht.

Um nur die Beuger anzuspannen, begaben wir uns, mein Freund Herr Kirchhoff und ich, an der Fig. 147 Taf. V abgebildeten Vorrichtung, von vorn herein in eine solche Lage, dafs der anzuspannende Arm völlig gebeugt war. Wir suchten ihn dann beim Anspannen noch mehr zu beugen, und drückten zugleich den Stab aus allen Kräften mit

Digitized by Google

den Fingern, den eingetauchten Zeigefinger ausgenommen. Der Erfolg war bei Herrn KIRCHHOFF sowohl als bei mir ein Strom in derselben Richtung, nur schwächer, als ob auch die Strecker angestrengt worden wären. Dies ist das Ergebnifs der Anstrengung der Beugemuskeln, worauf ich mich oben S. 262 in der Erörterung über den Strom beim Faustballen berufen habe.

Um nur die Strecker anzuspannen, diente uns derselbe Kunstgriff. Der anzuspannende Arm und die Finger, mit Ausnahme des eintauchenden Zeigefingers, wurden möglichst gestreckt. Wir suchten sie dann beim Anspannen noch mehr zu strecken. Der Erfolg war bei Herrn KIRCHHOFF sowohl als bei mir ein Strom in derselben Richtung, nur schwächer, als ob auch die Beuger angestrengt worden wären.

Es wirken folglich die Strecker und Beuger in demselben Sinne elektromotorisch, und der beim Anspannen sämmtlicher Armmuskeln sich kundgebende Strom würde nicht der Unterschied, sondern die Summe der Ströme sein, die beide Gruppen von Muskeln einzeln durch den Multiplicatorkreis senden. Welche von beiden Gruppen kräftiger elektromotorisch wirke, hat sich in den bisherigen Versuchen nicht mit Bestimmtheit herausgestellt.

Man kann, indem man eine bestimmte Bewegung beabsichtigt, noch andere antagonistische Muskelgruppen im Unterarme dergestalt einzeln zusammenziehen, z. B. die der Pronatoren und der Supinatoren, ferner die der Adductoren und Abductoren der Handwurzel (Extensor carpi radialis longus und brevis, Flexor carpi radialis, und Extensor und Flexor carpi ulnaris). Doch ist es mir bisher nicht gelungen, die gesonderte Anspannung dieser Gruppen so vorzunehmen, dafs zugleich der Strom mit Sicherheit abgeleitet werden konnte.

Eine andere Art, die elektromotorische Kraft in dem in Rede stehenden Versuch zu vergröfsern, ist nicht von mir ersonnen worden, sondern hat MOUSSON zum Urheber. Auch BUFF und BANCALARI sind unabhängig von MOUSSON und von einander auf denselben Gedanken gekommen. Dieser Gedanke ist der, den Versuch statt von einem Menschen, gleichzeitig von mehreren anstellen zu lassen, die nach dem Bilde der Säule in den Kreis eingeschaltet sind. Das Nähere von MOUSSON's, BUFF's und BANCALARI's Versuchen und den ähnlichen anderer Physiker wird später kurz mitgetheilt werden.[1] Hier wollen wir die Zweckmäfsigkeit des Vorschlages von unserem Standpunkt aus selbständig prüfen.

Indem man mehrere Menschen hintereinander in den Kreis einführt, die gleichzeitig die entsprechenden Arme zusammenziehen, vervielfacht

[1] S. unten, (VI).

Digitized by Google

man nicht allein die elektromotorische Kraft, sondern auch den Theil des Gesammtwiderstandes des Kreises, der vom menschlichen Körper herrührt. Sobald folglich der Widerstand des Multiplicators, bis zu den Fingern hin gerechnet, nicht verschwindet gegen den des menschlichen Körpers, wird allerdings durch die säulenartige Anordnung mehrerer Menschen eine Verstärkung des Stromes erreicht werden, wofern man nur über eine Anzahl von Individuen gebietet, die in der That dieselbe Leistungsfähigkeit in Bezug auf diesen Versuch besitzen, oder wofern die hinzugefügten Individuen stärker, oder wenigstens nur innerhalb gewisser Grenzen schwächer sind. Man bedient sich aber, zu diesen Versuchen, der Natur der Dinge nach, stets sehr langer Multiplicatoren. Somit wird auch die säulenartige Anordnung wohl stets vortheilhaft sein, und um so mehr, je gröfser der Widerstand des Multiplicators ist.

Um diese Anordnung herzustellen, darf man nicht die verschiedenen Personen, die man in den Kreis aufnimmt, sich die Hände reichen lassen, worauf man leicht verfällt, weil es von Alters her bei den Versuchen über den Schlag der Kleist'schen Flasche so gebräuchlich ist. Denn es ist unmöglich, dafs dabei nicht alle Uebelstände auftreten, um derenwillen wir uns den Gebrauch der Bäusche bei diesen Versuchen untersagt haben (S. oben S. 222. 223). Indem beim Anspannen des einen Armes nothwendig die Innigkeit der Berührung und die Stärke des Druckes zwischen je zwei Händen verändert werden wird, können vorübergehende Ströme von verschiedener Stärke und Richtung auftreten, von denen es schwer sein wird, den eigentlich zu beobachtenden Strom zu unterscheiden. Man mufs also vielmehr, zwischen je zwei Personen, die an dem Versuche theilnehmen, ein Zuleitungsgefäfs mit gesättigter Kochsalzlösung anbringen, und jede der beiden Personen einen Finger darin eintauchen lassen, unter Befolgung aller der Vorschriften, die im Vorigen für den Fall nur einer Person entwickelt worden sind, deren Finger in ein einziges Paar Zuleitungsgefäfse tauchen. Keines der Individuen darf eine Verletzung am eingetauchten Finger haben. Sämmtliche eingetauchte Finger müssen vor dem Versuch mit Seife gewaschen, mit Wasser abgespühlt und leicht getrocknet bis zum Gelenk zwischen dem ersten und zweiten Fingerglied eingetaucht werden. Sämmtliche Hände müssen auf das sorgfältigste unterstützt sein. Dann mufs die beständige Ablenkung der Nadel abgewartet, und nun erst darf zum möglichst gleichzeitigen Anspannen sämmtlicher entsprechenden Arme geschritten werden, wobei darauf zu achten ist, dafs nicht durch Benetzung neuer Hautstellen Anlafs zu Hautströmen gegeben werde.

So also wird man zu verfahren haben, um die säulenartige Anordnung mehrerer Menschen zum Kreise ohne Gefahr vor Täuschung

Digitized by Google

in's Werk zu setzen. Es ist aber nun noch ein ganz anderer Punkt zu erwägen. Es fragt sich nämlich, ob es nicht, wenn man einmal zur gleichzeitigen Anwendung mehrerer Individuen schreiten will, noch eine andere, in der Mehrzahl der Fälle zweckmäfsigere Gestalt des Versuches gebe. Der Widerstand der langen Multiplicatoren, die man zu diesem Versuch anwendet, mag immerhin nicht verschwinden gegen den des menschlichen Körpers. Indessen wird er doch wohl meist kleiner sein. Und alsdann wird es vortheilhafter sein, die Menschen nicht säulenartig, sondern nach dem Bilde der zusammengesetzten Kette (S. oben Bd. I. S. 701) in den Kreis aufzunehmen. Dies ergiebt sich aus der Ungleichheit

$$\frac{k}{\frac{W}{n}+w} \gtreqless \frac{k}{W+\frac{w}{n}},$$

wo k die elektromotorische Kraft eines Menschen, w seinen Widerstand, W den Widerstand des Multiplicatorkreises, endlich n die Anzahl der Menschen darstellt, die zum Versuch verwendet werden. Ist W, der aufserwesentliche Widerstand, der gröfsere, so ist die linke Seite der Ungleichheit gröfser oder die säulenartige Anordnung die vortheilhaftere. Ist dagegen w, der wesentliche Widerstand, der gröfsere, so ist die rechte Seite der Ungleichheit die gröfsere, die zusammengesetzte Kette bringt mehr Vortheil als die Säule. Anstatt die Menschen zur Säule zu verbinden, wird man also alsdann vielmehr, um die gröfstmögliche Wirkung zu erhalten, sie die Finger sämmtlich entweder in ein gemeinschaftliches Zuleitungsgefäfs tauchen lassen, oder, wenn man über mehrere Paar Zuleitungsgefäfse mit Platinplatten u. s. w. gebietet, die einzelnen Paare nebeneinander in den Multiplicatorkreis aufnehmen müssen.

Ich habe, in Gemeinschaft mit meinem Freunde Herrn Kirchhoff, einige Versuche über diesen Gegenstand unternommen. Kirchhoff hatte sich, gleich mir, eine grofse Fertigkeit im willkürlichen Tetanisiren der Arme erworben (S. oben S. 295). Einzeln lenkten wir die Nadel des Multiplicators für den Nervenstrom nahezu um dieselbe Gröfse, nämlich um etwa 45° ab. Bildete aber Kirchhoff eine Nebenschliefsung zu mir in Bezug auf den Multiplicatorkreis, so schwächte er meine Wirkung mehr als ich die seine, wenn ich zu ihm die Nebenschliefsung abgab. Daraus schien zu folgen, dafs die Gleichheit der Wirkungen, die wir einzeln hervorbrachten, nicht auf Gleichheit unserer elektromotorischen Kräfte bei gleichem Widerstande beruhte, sondern dafs mir die gröfsere elektromotorische Kraft und der gröfsere Widerstand, Kirchhoff die kleinere elektromotorische Kraft und der kleinere Widerstand zukam, so zwar, dafs der Quotient bei jedem von uns ziemlich denselben Werth

Digitized by Google

erreichte. Eine Vergleichung unserer Widerstände, wodurch die Richtigkeit dieses Schlusses hätte geprüft werden können, wurde nicht angestellt. Es sprach jedoch noch der Umstand dafür, dafs es bei Kirchhoff sehr viel schwerer hielt, Herr zu werden über die Hautungleichartigkeiten, als bei mir (Vergl. oben S. 204).

Als Kirchhoff und ich säulenartig verbunden am Multiplicator für den Nervenstrom wirkten, lenkten wir die Nadel auf beiden Seiten bis zu etwa 65° ab. Als zusammengesetzte Kette trieben wir sie aber nur bis zu ungefähr 55°. Es erwies sich also die säulenartige Anordnung als vortheilhafter denn die zusammengesetzte Kette. Es mufs folglich der Widerstand des Multiplicators für den Nervenstrom, der dem eines Kupferdrahtes von 263510^m Länge und 1^{mm} Durchmesser etwa gleichkommt, den des menschlichen Körpers unter den hier obwaltenden Umständen noch übertreffen.

Wir wollten nun denselben Versuch am Multiplicator für den Muskelstrom anstellen, dessen Widerstand dem eines nur 32320^m langen Drahtes von demselben Durchmesser gleich zu schätzen ist. Hier hätte unzweifelhaft die zusammengesetzte Kette über die Säule gesiegt. Allein es gab sich bei diesen Versuchen noch ein Umstand zu erkennen, der unserer Aufmerksamkeit eine andere Richtung gab, indem er zu zeigen schien, dafs die Verstärkung der Wirkung auf dem hier betretenen Wege doch zuletzt nicht sicher zu erreichen sei. Dieser Umstand war der, dafs mehreremal die Wirkung von Kirchhoff und mir, wenn wir uns zur zusammengesetzten Kette verbanden, kleiner ausfiel, als wenn jeder von uns sich allein im Kreise befand.

Dies ist, ohne Hinzunahme eines neuen Erklärungsprincips, ein ganz unbegreifliches Ergebnifs. Denn es seien k und k^1, w und w^1 die elektromotorischen Kräfte und Widerstände der beiden Personen, die den Versuch anstellen, W der Widerstand des Multiplicatorkreises, und das Verhältnifs der Wirkungen, die beide Personen einzeln hervorbringen, sei gegeben durch die Gleichung

$$\frac{k}{W+w} = n.\frac{k^1}{W+w^1}.$$

Damit nun z. B.

$$\frac{kw^1+k^1w}{Ww+Ww^1+ww^1} < \frac{k^1}{W+w^1}$$

sei, mufs

$$k\left(\frac{W+w^1}{W}\right) < k^1,$$

oder, da

$$k^1 = k\frac{W+w^1}{n(W+w)},$$

$$n(W+w) < W$$

Digitized by Google

sein. Diese Ungleichheit ist nur möglich unter der Bedingung, dafs $n < 1$ sei, d. h., die Wirkung der zusammengesetzten Kette kann zwar schwächer sein als die stärkere, nicht aber als die schwächere Einzelwirkung. Ist $n = 1$, wie es bei KIRCHHOFF und mir annäherungsweise der Fall war, so mufs sie stärker sein als beide.

Ich weifs daher, um den beobachteten Erfolg zu erklären, keine andere Auskunft, als sich zu denken, dafs in solchen Fällen die Wirkungen bei KIRCHHOFF und mir nicht gleichzeitig genug waren, keinen hinreichend übereinstimmenden Verlauf in der Zeit nahmen, so dafs wir uns nacheinander einer dem anderen eine blofse Nebenschliefsung darboten oder uns wenigstens mehr durch Nebenschliefsung schwächten, als durch unsere elektromotorische Kraft verstärkten. Es mufs Zufall gewesen sein, dafs es uns bei der Anordnung zur Säule nicht auch begegnete, zusammen schwächer als einzeln zu wirken. Denn auch hier hätten wir uns bei ungleichzeitiger Kraftentwickelung einander durch Widerstand mehr schwächen können, als wir uns durch Summirung unserer elektromotorischen Kräfte verstärkten, wenn auch nicht in dem Mafse, wie bei der Anordnung zur zusammengesetzten Kette. Noch ein anderer Umstand tritt hinzu, um die Richtigkeit dieser Erklärung wahrscheinlich zu machen. Es ist der oben S. 285. 286. 288 angemerkte, dafs man beim gleichzeitigen Zusammenziehen beider Beine und beider Arme fast nie, wie es sein sollte, Gleichgewicht beobachtet, sondern meist einen gröfseren oder kleineren Ausschlag in der einen oder der anderen Richtung erhält.

Leider haben äufsere Umstände die Fortsetzung dieser Versuche von Seiten KIRCHHOFF's und meiner verhindert, und ich habe bis zum Abschlufs dieser Zeilen für den Druck nicht wieder Gelegenheit gefunden, die Sache in's Klare zu bringen. Es mufs aber danach, wie bemerkt, doch zweifelhaft bleiben, ob die Verbindung mehrerer Personen zur Anstellung des Versuches wirklich einen tadelfreien Weg zur Verstärkung der Wirkung abgebe.

Schliefslich gedenke ich noch eines solchen Weges, auf den ich seither durch die oben mitgetheilten Untersuchungen über Thermoströme am menschlichen Körper geführt worden bin. Man erinnert sich, dafs durch Erwärmen der Zuleitungsflüssigkeit der Widerstand der Oberhaut sehr vermindert wird (S. oben S. 212). Ich stellte also den Versuch statt in gesättigter Kochsalzlösung von der zeitigen Lufttemperatur, in solcher von etwa 45° C. an; und so gelang es mir, die Nadel des Multiplicators für den Nervenstrom bis auf 60—70°, die des Multiplicators für den Muskelstrom bis auf 10—12° abzulenken. Dies halte ich jedenfalls für eine bessere Art des Versuches, als das Hinzuziehen einer zwei-

Digitized by Google

ten Person. Nichts verhindert übrigens, beide Versuchsweisen, zu noch gröfserer Wirksamkeit, mit einander zu verbinden. Da alsdann der Widerstand des Körpers ein kleinerer wird, so ist es übrigens denkbar, dafs unter Umständen, wo, bei kalter Zuleitungsflüssigkeit, die zusammengesetzte Kette vortheilhafter gewesen wäre, nunmehr, bei warmer Zuleitungsflüssigkeit, der säulenartigen Anordnung der Vorzug zu schenken sei.

Uebrigens wird uns die Folge mit noch einem Mittel bekannt machen, die in Rede stehende Wirkung aufserordentlich zu verstärken. Doch ist nicht zu glauben, dafs dies Mittel sich bei Denen, die den Versuch nur zum Vergnügen wiederholen wollen, eines grofsen Beifalls erfreuen werde. Es besteht nämlich in nichts anderem, als in der Beseitigung des Widerstandes der Oberhaut durch deren Entfernung, d. h. durch Ableitung des Stromes von verletzten Hautstellen.[1]

(v) Versuche, um die Ströme beim willkürlichen Tetanus der menschlichen Gliedmafsen am stromprüfenden Schenkel nachzuweisen.

Es gab möglicherweise noch eine andere Art, die hier in Rede stehenden Versuche zugänglicher zu machen. Ihre Unzugänglichkeit beruht, wie wir gesehen haben, zu einem guten Theil auf der Schwierigkeit, sich einen hinreichend empfindlichen Multiplicator zu verschaffen. Diese Schwierigkeit, und zugleich alle diejenigen, welche sich an die Handhabung eines so zarten Werkzeuges knüpfen, würden gehoben sein, wenn es gelänge, den Multiplicator aus diesen Versuchen überhaupt zu verbannen und an seine Stelle ein anderes stromprüfendes Mittel, seinen Nebenbuhler an Empfindlichkeit, den stromprüfenden Froschschenkel zu setzen; mit anderen Worten, wenn es gelänge, secundäre Zuckung oder secundären Tetanus von den Gliedmafsen des lebenden unversehrten Menschen zu erlangen.

Wenn sich sonst nichts dem Zustandekommen der secundären Zuckung widersetzt, wird dazu nur nöthig sein, im Uebrigen mit Beibehaltung der beschriebenen Anordnungen, aus den jedesmal angewendeten Zuleitungsgefäfsen die Multiplicatorenden zu entfernen, an Stelle derselben mit Eiweifshäutchen versehene Zuleitungsbäusche anzubringen, und sie zu überbrücken mit dem Nerven des in gewohnter Art aufgestellten stromprüfenden Schenkels. Wenn alsdann die Muskeln zusammengezogen werden, wird die Stromdichte im Nerven, gleichviel ob sie vorher Null war oder bereits einen endlichen Werth besafs, in's Schwanken gerathen und es wird, je nachdem man es bei einzel-

[1] S. unten, (xi).

Digitized by Google

nen Zuckungen bewenden läfst oder auch die Gliedmafsen willkürlich tetanisirt, beziehlich secundäre Zuckung und secundärer Tetanus eintreten müssen.

Indessen sind meine Bemühungen, dies zu beobachten, leider vergeblich geblieben. Die Anordnungen, welche ich versuchte, waren erstens die Finger in den Fingergefäfsen, zweitens die Hände in den Handgefäfsen, drittens die Füfse in den Fufsgefäfsen. Im letzten Falle war die Zuleitungsflüssigkeit erwärmt. Nie fand, auch bei den heftigsten Anstrengungen meiner Muskeln, die leiseste Zuckung des stromprüfenden Schenkels statt, die als secundäre Zuckung auszulegen gewesen wäre.

Dies verneinende Ergebnifs läfst sich folgendermafsen begreiflich machen. Wir wollen zunächst annehmen, dafs die elektromotorische Wirkung beim willkürlichen Tetanus ganz dieselbe Beschaffenheit habe als die beim elektrischen Tetanisiren der Froschgliedmafsen. Dann kann jenes Ergebnifs nur daher rühren, dafs die elektromotorische Wirkung nicht die hinreichende Gröfse hat, um Zuckung zu erzeugen. Die nähere Betrachtung lehrt, dafs dies auch in der That zweifelhaft bleibt. Nur unter den günstigsten Bedingungen vermag der stromprüfende Froschschenkel den Strom anzuzeigen zwischen Längsschnitt und künstlichem Querschnitt seines eigenen Nerven, wenn dieser Strom in seiner ganzen Gröfse plötzlich hergestellt und abgebrochen wird (S. oben Abth. I. S. 273). Dieser Strom ist aber so stark, dafs er die Nadel des Multiplicators für den Nervenstrom nicht selten kräftig an die Hemmung führt. Seine Wirkung auf die Nadel ist also sehr viel gröfser, als die des Stromes, zu dem der willkürliche Tetanus der Gliedmafsen unter den günstigsten Umständen Anlafs giebt. Zwar giebt uns die letztere Wirkung, weil sie von einem unterbrochenen Strom herrührt, kein richtiges Mafs von der Stärke der einzelnen Stöfse dieses Stromes ab. Nichts verhindert uns aber, uns zu denken, dafs diese einzelnen Stöfse doch noch an Stärke zurückstehen hinter dem schwächsten Strom, der noch Zuckung zu bewirken vermag, dem Strom nämlich zwischen Längsschnitt und künstlichem Querschnitt eines Ischiadnerven vom Frosch.

Also schon so gelingt es, jenes verneinende Ergebnifs zu erklären. Aber es fragt sich auch noch, ob es überhaupt zulässig sei, anzunehmen, wie wir gethan haben, dafs der elektromotorische Vorgang beim willkürlichen Tetanus der menschlichen Gliedmafsen dem an den Froschgliedmafsen in unseren früheren Versuchen in allen Stücken gleichzusetzen sei.

Die einzelnen Zuckungen, die man durch den Willen hervorbringt, haben nämlich nicht dieselbe Geschwindigkeit, wie die auf elektrischem

Digitized by Google

Wege erzeugten. Davon ist es leicht, sich die subjective Ueberzeugung zu verschaffen. Wenn auch vielleicht nicht im gleichen Maſse, so gilt doch dasselbe für die auf mechanischem und kaustischem Wege hervorgebrachten Zuckungen und für die Reflexzuckungen, die dem Tetanus durch Strychninvergiftung vorhergehen. Zu der absoluten Schwäche der in den Versuchen am Menschen stattfindenden Wirkung kommt also noch ihre vergleichweise Langsamkeit hinzu, um das Ausbleiben der secundären Zuckung des Froschschenkels bei einzelnen Zuckungen der Gliedmaſsen zu erklären.

Dies ist aber noch nicht Alles. Wenn wir die Gliedmaſsen des Frosches vom Nerven aus tetanisirten, wurden stets sämmtliche Primitivröhren des Nerven gleichzeitig erregt, und sämmtliche Muskeln zuckten demgemäſs und erschlafften wiederum zu gleicher Zeit. Einer jeden solchen Gesammtzuckung der Gliedmaſse entsprach ein Zahn, einer jeden Erschlaffung eine Lücke zwischen zwei Zähnen der kammförmigen Curve Fig. 89 Taf. I. Fig. 145 Taf. V dieses Bandes. Beim willkürlichen Tetanus der Gliedmaſsen verhält es sich anders. Zwar ist auch hier die Zusammenziehung keine stetige, sondern eine unterbrochene, wie Wollaston und P. Erman gezeigt haben.[1] Allein es zucken und erschlaffen abwechselnd dabei nicht alle Muskeln zu gleicher Zeit. Vielmehr gerathen die Glieder dabei in ein Zittern, welches nicht anders zu erklären ist als durch die Annahme, daſs von den beiden Muskelgruppen, welche das Glied in der Ebene der Erzitterung bewegen, abwechselnd die eine und die andere die gröſsere Spannung besitzt. Es ziehen sich folglich nicht sämmtliche Muskeln zu gleicher Zeit zusammen, sondern die Zusammenziehung der einen Muskelgruppe fällt in den Zwischenraum der Erschlaffung der anderen zwischen je zwei Zusammenziehungen derselben.

Dem entsprechend wird also auch die Curve der Stromdichte im stromprüfenden Nerven nicht mehr der oben bezeichneten gleichzustellen sein, sondern sie wird betrachtet werden können als zusammengesetzt aus zwei solchen Curven, von denen die eine gegen die andere um die Breite eines Zahnes verschoben ist. Ueber die Gestalt der Zähne der Curve, über das Verhältniſs ihrer Breite zu der der Lücken, die sie zwischen sich lassen, ist erfahrungsmäſsig durchaus nichts bestimmt. Nichts verhindert uns also anzunehmen, daſs diese Gestalt und dieses Verhältniſs der Art seien, daſs die resultirende Curve entweder gar nichts mehr von einer kammförmigen hat, oder daſs we-

[1] Gilbert's Annalen der Physik. 1812. Bd. XL. S. 18. 32.* — Vergl. unten, Kap. IX.

Digitized by Google

nigstens die übrigbleibenden Zähne aufserordentlich viel kürzer sind als die der beiden einzelnen Curven. Dies kann man sich auf verschiedene Arten denken, je nach der Vorstellung von der Gestalt der Zähne, die man dabei zum Grunde legt.

Gleichviel, wie man diese Vermuthung im Einzelnen ausführe, man sieht, dafs sie vollständig erklärt, weshalb der willkürliche Tetanus der menschlichen Gliedmafsen aufser Stande ist, secundären Tetanus des stromprüfenden Froschschenkels zu erzeugen. Zugleich aber ergiebt sich dabei, dafs die Multiplicatorwirkung, die jener Tetanus erzeugt, uns hier ein viel richtigeres Mafs von der absoluten Stärke des Stromes giebt, als dies in den Froschversuchen der Fall ist, weil eben die elektromotorische Wirkung der Zusammenziehung hier keine unterbrochene mehr ist. Und so wirft unsere letzte Betrachtung abermals Licht darauf, weshalb auch einzelne secundäre Zuckungen des stromprüfenden Schenkels durch willkürliche Zusammenziehung der menschlichen Gliedmafsen vermifst werden.

Wahrscheinlich übrigens wirkt schon ein dem eben dargelegten ähnliches Verhalten mit, um das Erscheinen des secundären Tetanus beim Tetanus durch Strychninvergiftung am Frosche zu erschweren (S. oben S. 184. 185). Denn ohne Zweifel steht diese Art der dauernden Innervation der durch den Willen näher als die beim elektrischen Tetanisiren, und in der That ist es auch nichts Ungewöhnliches, auf dem Gipfel des Strychninkrampfes die Gliedmafsen wie beim willkürlichen Tetanus erzittern zu sehen (S. oben Abth. I. S. 515).

Legt man die Vorstellung zum Grunde, dafs, trotz der Unterbrochenheit des willkürlichen Tetanus, die dabei stattfindende elektromotorische Wirkung keine unterbrochene mehr sei, sondern eine stetige, so mufs noch eine andere Versuchsweise in Anwendung gebracht werden, ehe man es aufgiebt, Zuckung des stromprüfenden Schenkels durch diese elektromotorische Wirkung zu erlangen. Sie besteht darin, den stetigen Strom, den die Zusammenziehung erzeugt, in dem Nerven des stromprüfenden Schenkels schnell herzustellen und wieder abzubrechen, wie wir dies mit dem Nervenstrom gethan haben, um eine physiologische Wirkung von demselben zu erlangen (S. oben Abth. I. S. 273). Wenigstens wird so vermuthlich immer noch leichter secundäre Zuckung eintreten als beim Beginn oder gar beim Nachlassen des willkürlichen Tetanus, wo die Curve der Stromdichte im Nerven schwerlich solche Steilheit besitzt, dafs, selbst bei noch weit beträchtlicherer absoluter Gröfse ihrer Ordinaten, Zuckung stattfinden könnte.

Um den Versuch anzustellen, bringt man zwischen die Zuleitungsbäusche einen Zwischenbausch an, bekleidet diesen und einen der Zu-

Digitized by Google

leitungsbäusche mit Eiweifshäutchen, und überbrückt sie mit dem Nerven des stromprüfenden Froschschenkels. Zwischen dem Zwischenbausch und dem anderen Zuleitungsbausche schliefst und öffnet man den Kreis mittelst des Schliefsungsbausches. Damit ein entscheidender Erfolg beobachtet würde, müfste natürlich der stromprüfende Schenkel in Ruhe bleiben, so lange keine Muskeln angespannt sind; erst beim willkürlichen Tetanus dürfte er auf das Schliefsen und Oeffnen des Kreises mit Zuckung antworten. Es findet daher diese Versuchsweise nur Anwendung auf diejenigen der oben beschriebenen Anordnungen, bei denen, nach längerer Schliefsung, kein merklicher Strom im Kreise zurückbleibt. Dies sind die drei bereits im Vorigen (S. oben S. 305) von uns angewendeten, da die Gestalt des Versuches, wobei beide Elbogen in die Zuleitungsgefäfse tauchen (S. oben S. 290), zu unbequem ist. Ich habe, in allen drei Fällen, mehreremal den Versuch vergeblich angestellt. Es liegt also der bei der Zusammenziehung entstehende Strom, bei der Geschwindigkeit der Herstellung und Unterbrechung, wie sie hier erlangt werden kann, unterhalb der Grenze der Empfindlichkeit des stromprüfenden Schenkels.

Die Folge wird lehren, dafs dies selbst dann der Fall ist, wenn der Widerstand des Körpers durch Hinwegschaffung der Oberhaut beträchtlich vermindert worden ist.

(vi) Geschichtliches zu den vorigen Versuchen.

Mit den Fingern in den gewöhnlichen Zuleitungsgefäfsen habe ich den Strom beim willkürlichen Tetanus eines Armes bereits im Jahr 1845 am Multiplicator für den Muskelstrom beobachtet. Die Versuche des vierten Kapitels und des dritten Paragraphen dieses Kapitels waren dieser Beobachtung, mit wenigen Ausnahmen, voraufgegangen. Es lag dieselbe ganz natürlich am Ende des Weges, den ich schon 1842 in meinem »*vorläufigen Abrisse*« betrat, als ich die negative Schwankung des Stromes der Froschmuskeln bei der Zusammenziehung nachwies. Nicht durch Zufall wurde ich darauf geführt, sondern ich wufste, dafs ein derartiger Erfolg unter gewissen Bedingungen nicht ausbleiben konnte, obschon ich allerdings nicht im Stande war vorauszusehen, dafs er gerade unter diesen Umständen und gerade in dieser Richtung eintreten würde.

Seit dem Jahr 1845 waren viele Berliner und auswärtige Gelehrte bei mir Zeugen der durch willkürliche Zusammenziehung hervorgebrachten Nadelablenkungen. Im September 1847 hatte ich die Ehre, die Erscheinung, im Beisein meines Freundes Brücke, Herrn Alexander von Humboldt zu zeigen. Im März 1848 gab ich in der Vorrede zu

Digitized by Google

diesem Werke eine Andeutung des Versuches (S. oben Bd. I. S. xv). Im Herbste desselben Jahres endlich theilte ich ihn, im Verein mit der Grundthatsache des elektrotonischen Zustandes der Nerven, der hiesigen Akademie der Wissenschaften bei Uebersendung des ersten Bandes dieses Werkes mit, indem ich mich auf das Zeugnifs zweier Mitglieder der Akademie, der Herren v. Humboldt und Magnus berief.[1]

Die erwähnte Stelle meiner Vorrede gab ein halbes Jahr später Herrn v. Humboldt Veranlassung, die Aufmerksamkeit der Pariser Akademie der Wissenschaften auf den in Rede stehenden Versuch zu lenken.[2] Um die Zweifel zu besiegen, welche in Folge dieser Mittheilung, zwar nicht öffentlich, doch in Privatbriefen ausgesprochen wurden, hatte Herr v. Humboldt die Güte, sich am 15. Mai 1849 abermals zu mir zu begeben und in Gegenwart der Herren Johannes Müller und Helmholtz den Versuch selber anzustellen. Mit Bezug hierauf, und mit einer Nachschrift v. Humboldt's versehen, erschien ein Brief von mir an v. Humboldt in den *Comptes rendus* etc. 21 Mai 1849. t. XXVIII. p. 641.*[3] In diesem Briefe setzte ich kurz das Verfahren, dessen ich mich zu bedienen pflege, auseinander, wobei ich meine thierisch-elektrischen Versuchsweisen, Multiplicator, Zuleitungsgefäfse u. s. w. als bekannt voraussetzte, aus dem Grunde, dafs v. Humboldt bereits ausdrücklich auf den schon im Herbst 1848 erschienenen ersten Band dieser Untersuchungen hingewiesen hatte.[4] Ich beschrieb sodann, so weit ich sie damals kannte, die Hautströmungen bei gesunden Fingern, sowie die bei Gegenwart einer Wunde an dem einen Finger, endlich den Erfolg bei der Zusammenziehung.

In Folge dieses Briefes versuchten mehrere Gelehrte die von mir angegebene Thatsache zu beobachten. Indessen blieben ihre Bestrebungen meist erfolglos und ihre Erörterungen des Gegenstandes ohne Werth, weil sie, ungeachtet der eben erwähnten und später nochmals[5] wiederholten Aufforderung v. Humboldt's, es versäumten, zuvor Kenntnifs von meinen früheren Arbeiten zu nehmen. Die ersten, die sich mit

[1] Bericht über die zur Bekanntmachung geeigneten Verhandlungen der Königl. Preufs. Akademie der Wissenschaften zu Berlin. October 1848. S. 362; — L'Institut. t. XVII. No. 795. p. 102.*

[2] Comptes rendus etc. 30 Avril 1849. t. XXVIII. p. 570;* — L'Institut. t. XVII. No. 800. p. 138.*

[3] L'Institut. No. 803. p. 161;* — Archives des Sciences physiques et naturelles. t. XI. p. 217;* — Philosophical Magazine. 3. Series. July 1849. Suppl. vol. XXXIV. p. 543;* — The American Journal of Science and Arts. 2. Series. vol. VIII. p. 404;* — Zantedeschi, Annali di Fisica. 1849—1850. p. 13.*

[4] Comptes rendus etc. 30 Avril 1849. t. XXVIII. p. 570.*

[5] Comptes rendus etc. 21 Mai 1849. t. XXVIII. p. 643.*

Digitized by Google

der Wiederholung meines Versuches befafsten, waren Despretz und Becquerel der Vater.

Despretz benutzte einen Ruhmkorff'schen Multiplicator von nur 1800 Windungen, der also auch unter den günstigsten Umständen höchstens eine Spur von Ablenkung hätte zeigen können. Zuerst fafste er mit den Händen kupferne Handhaben, die er aber zu diesem Behuf hatte versilbern, vergolden und platiniren lassen. Er fand, dafs man nur mit der einen Hand die Handhabe zu drücken brauchte, um Ablenkungen von 50—90° bald in der einen, bald in der anderen Richtung zu bewirken. Diese Versuche stellte Despretz an, bevor er meinen Brief an v. Humboldt zu Gesicht bekommen. Nachdem er davon Kenntnifs erhalten, fing er damit an sich zu versichern, dafs ungleiche Temperatur der Salzlösung in den beiden Gefäfsen, worin die Finger tauchten, keine Spur von Strom erzeugte, wobei ihm also die oben S. 208 beschriebenen Wirkungen entgingen. Damit, beim Eintauchen der Finger, die Flüssigkeit nicht neue Punkte der Zuleitungsplatten benetze, wurden die Platten bis unter den Spiegel der Flüssigkeit mit Siegellack überzogen (Vergl. oben Bd. I. S. 215. Bd. II. Abth. I. S. 188. 190. Abth. II. S. 282). Die Zusammenziehung eines Armes gab unter diesen Umständen Ablenkungen bald im einen, bald im anderen Sinne.

Da es Despretz nicht glückte, auf die von mir angegebene Art unzweideutige Erfolge zu beobachten, so suchte er auf eigenen Wegen dazu zu gelangen. Er zog den einen Arm bereits in der Luft zusammen, und tauchte nun erst die Finger ein. Er tauchte statt der Finger die ganzen zur Faust geballten Hände in grofse Gefäfse mit Salzlösung ein; beides ohne bestimmtes bejahendes oder verneinendes Ergebnifs. Die Richtung der Ausschläge, welche er erhielt, entsprach bald der von mir angegebenen, bald widersprach sie ihr.

Um den Versuch zu gröfserer Einfachheit zurückzuführen, suchte Despretz den Multiplicator durch den stromprüfenden Froschschenkel zu ersetzen. Froschschenkel wurden mit den Armen zum Kreise geschlossen, während ein Arm angespannt war. Da auch dies mifslang, kehrte Despretz zu den Versuchen mit den Handhaben zurück. Vermuthlich um dabei den Druck im Augenblick der Zusammenziehung zu vermeiden, wurden diesmal die Handhaben mit seidenen Schnüren auf den mit Salzlösung benetzten Handrücken festgebunden. Die beständige Ablenkung der Nadel durch die blofse Ungleichartigkeit des so gebildeten Kreises betrug 10°, übertraf also beiläufig um mindestens das zehnfache den Ausschlag, den Despretz, an seinem Multiplicator, durch den Strom beim willkürlichen Tetanus des einen Armes hätte erwarten können. Endlich, da auch dies nichts fruchten wollte, schlofs

Digitized by Google

Despretz, wie es scheint, nur den Kreis in der Luft mit Armen und Händen in der Nähe eines astatischen Nadelpaares und spannte den einen Arm an, allein, was nicht zu verwundern ist, gleichfalls ohne Erfolg. Despretz begnügte sich nicht, nach diesen Versuchen das von mir angekündigte Ergebnifs zu bezweifeln, sondern er dehnte seine Zweifel auch noch aus über die thierisch-elektrischen Versuche an Fröschen, von denen ihm übrigens wohl nur die Matteucci's bekannt waren. Seine Sorge ist, dafs alle diese Erscheinungen, statt von den thierischen Theilen, vielmehr ausgehen von den zur Ableitung angewendeten Metallen. Bei den Vorstellungen, die er sich von den thierisch-elektrischen Versuchen gemacht zu haben scheint, kann man seine Zweifel nur gerechtfertigt finden. Ganz gewifs gingen in allen Versuchen Despretz' die Wirkungen einzig und allein von den Metallen aus.[1]

Becquerel dem Vater glückte es so wenig als Despretz meinen Versuch zu wiederholen. Ohne zu bedenken, dafs dies sehr wohl daher rühren mochte, dafs sein Multiplicator nicht die gehörige Empfindlichkeit besafs, gab Becquerel ohne Weiteres zu verstehen, dafs ich mich durch Hautungleichartigkeiten und durch die Ladungen der Platinplatten auf's gröblichste habe täuschen lassen;[2] und die wissenschaftliche Tagespresse verfehlte nicht, in diese verdiente Abfertigung meiner kindischen Behauptungen mit lautem Hohne einzustimmen.[3]

Eine solche Verunglimpfung seines Ansehens, wobei noch dazu ein Nachdruck auf den deutschen Ursprung der angefochtenen Thatsache gelegt wurde, konnte v. Humboldt nicht füglich ungeahndet hingehen lassen. Am 6. Juni 1849 begab er sich abermals zu mir in Gemeinschaft mit Herrn E. Mitscherlich, damit auch dieser von der Wahrheit meiner Thatsachen Zeugnifs ablegen möchte. Mein Freund W. Heintz war bei diesen Versuchen gegenwärtig. Einige Tage später wiederholte Herr Mitscherlich seine Prüfung. Das Ergebnifs derselben, welches

[1] Comptes rendus etc. 28 Mai 1849. t. XXVIII. p. 653;* — L'Institut. t. XVII. No. 804. p. 169;* — Philosophical Magazine. 3. Ser. July 1849. vol. XXXV. p. 53;* — The American Journal of Science and Arts. 2. Series. vol. VIII. p. 406;* — Archives des Sciences physiques et naturelles. Juillet 1849. t. XI. p. 217.* Hier stimmt de la Rive den Behauptungen Despretz' bei hinsichtlich der Unmöglichkeit zarte hydroëlektrische Ströme, wie die angeblich thierisch-elektrischen, mit Hülfe des Multiplicators sicher zu erkennen und zu studiren, und zwar wegen der elektromotorischen Wirkungen, welche die Folge seien der Berührung der Flüssigkeiten und der metallischen Multiplicatorenden.

[2] Seine »Note« steht mit der von Despretz zugleich an den eben erwähnten Stellen.

[3] S. z. B. Journal des Débats politiques et littéraires. 1 Juin 1849. Feuilleton. — Archives générales de Médecine etc. 4. Sér. t. XX. p. 253.*

Digitized by Google

der Leser leicht erräth, findet sich in einem Briefe v. Humboldt's an Arago in den *Comptes rendus* etc. 2 Juillet 1849. t. XXIX. p. 8.*[1]

Die Angreifer zogen nach diesem Briefe wenigstens zum Theil ihre Stellungen etwas zurück.[2] Im Uebrigen aber verlautete seitdem in Frankreich nichts von meinem Versuch, nur dafs Ducros sich seiner annahm, ein Mann, der seit Jahren den Lesern der *Comptes rendus* bekannt war durch seine in zahllosen Aufsätzen stets von Neuem vorgebrachten ausschweifenden Behauptungen vornehmlich auf dem Felde der Elektrotherapeutik. Dieser brachte es bald dahin, nicht nur durch den Vorgang des Empfindens, sondern sogar durch den des Denkens, durch arithmetische Operationen nämlich, die Multiplicatornadel in Schwankungen zu versetzen, die um so heftiger sein sollten, je verwickelter die Operation.[3] Die Akademie verschmähte nicht, Kenntnifs von diesen schwer zu bezeichnenden Leistungen zu nehmen, und zuletzt entwickelte sich daraus in ihrem Schoofse zwischen Despretz und Pouillet ein Streit über den Einflufs, den Luftströmungen auf Stellung und Bewegung der Magnetnadel äufsern können (Vergl. oben Bd. I. S. 194).[4]

In England hatte inzwischen Robert Hunt sich bestrebt, meinen Versuch zu wiederholen. Dieser hatte meine Angaben entweder entstellt vernommen, oder mifsverstanden: denn er glaubt danach zu verfahren, indem er nach Despretz' Weise (S. oben S. 310) den einen Arm bereits in der Luft zusammenzieht, und dann erst beide Finger eintaucht, wobei man natürlich sehr leicht Täuschungen durch die Hautungleichartigkeiten ausgesetzt ist. Die Platinplatten in seinem Versuch waren anderthalb Zoll breit und tauchten zwei Zoll tief in die Kochsalzlösung ein. Sie waren also fast so ausgedehnt, als die von mir angewendeten. Die Lösung enthielt ℥iv Kochsalz auf die Imperial Pint, also etwa 18 Theile Salz auf 100 Theile Lösung, war also bei weitem nicht gesättigt. Der Multiplicator wird nicht näher beschrieben. Beim Eintauchen der Finger in der angegebenen Art sah Hunt Ausschläge von 2° erfolgen, deren Richtung er nicht angiebt, die also wahrscheinlich den von mir bezeichneten Sinn einhielten. Unter der Voraussetzung,

[1] L'Institut. t. XVII. No. 809. p. 210.* — Kurz zusammengestellt hat diese Verhandlungen auch C. Scarpellini in der Corrispondenza scientifica in Roma. No. 11. 22 Agosto 1849. p. 86.*

[2] Gazette des Hôpitaux civils et militaires. 3. Série. t. I. No. 78. p. 311.* 5 Juillet 1849; — Journal des Débats etc. 12 Juillet 1849. Feuilleton;* — Archives générales de Médecine etc. 4. Sér. t. XX. p. 496.*

[3] Comptes rendus etc. 28 Mai 1849. t. XXVIII. p. 677;* — 2 Juillet. t. XXIX. p. 16;* — 9 Juillet. p. 26;* — 16 Juillet. p. 57.*

[4] Despretz, Comptes rendus etc. 27 Août 1849. t. XXIX. p. 225;* — Pouillet, Ibidem. 3 Septembre. p. 245;* — Despretz, Ibidem. 10 Septembre. p. 273.*

Digitized by Google

denn auch dies findet sich nicht gesagt, dafs das Eintauchen der Finger bei erschlafften Armen die Nadel in Ruhe liefs, mag Hunt wirklich den Strom durch die Zusammenziehung beobachtet haben. Anstatt nun aber die Empfindlichkeit des Multiplicators zu erhöhen, verläfst Hunt den richtigen Weg und wendet sich der fehlerhaften durch Despretz eingeführten Versuchsweise zu, die darin besteht, die metallischen Multiplicatorenden unmittelbar mit den Händen zu berühren. Drückte er die eine Platinplatte des Multiplicators mit den Fingern, während die andere nur entweder leise berührt wurde oder durch die Salzlösung mit der anderen Hand in Verbindung stand, so erfolgten Ausschläge bis zu 30°, deren Gröfse anfänglich mit der Stärke des Druckes im geraden Verhältnifs stand, endlich aber, unter scheinbar unveränderten Umständen, verschwindend ward. Hunt stellt sich vor, dafs diese Ausschläge dem Strome der zusammengezogenen Muskeln zuzuschreiben seien und dafs sie deshalb aufhörten, weil die Muskeln ermüdeten. Auch er glaubt sich übrigens, gleich Despretz (S. oben S. 310), überzeugt zu haben, dafs verschiedene Temperatur der Kochsalzlösung keine merkliche Wirkungen nach sich zog.[1]

Alb. Mousson in Zürich scheint auch keine richtige Kenntnifs von meiner Versuchsweise gehabt zu haben. Die seinige schildert er folgendermafsen: »Die Enden eines empfindlichen Galvanometers werden mit »Platinstreifen versehen und in zwei Schalen mit Salzwasser getaucht. »Faſst man zugleich jeden der Streifen mit einer Hand, so zeigt sich, »dadurch allein, noch keinerlei Wirkung, wird aber der eine Arm »krampfhaft angespannt, so geht von dieser Seite ein Strom durch das »Galvanometer, der die Nadel oft um 30 und 40° abzulenken vermag.« Mousson beobachtete also, wie es scheint, einen absteigenden Strom im angespannten Arm, ohne dafs ihm dieser Widerspruch mit dem von mir angekündigten Erfolge weiter auffiel. Mousson fand aber ferner, dafs bei säulenartiger Anordnung von zwei oder mehreren Personen, die sich die Hände gaben, der Strom schwächer ausfiel, als bei nur einer; sodann, dafs eine wesentliche Bedingung der von ihm beobachteten Wirkung in dem mit den Fingern auf die Zuleitungsplatten ausgeübten Druck liege. Wurden die Armmuskeln angespannt, ohne dafs zugleich ein Druck auf die Elektroden stattfand, so blieb der Strom

[1] The Athenaeum. No. 1128. June 9, 1849. p. 597; — Mechanic's Magazine, etc. vol. L. p. 565. — Die Herausgeber des Philosophical Magazine sagen in einer Anmerkung zur Uebersetzung meines Schreibens an v. Humboldt (S. oben S. 309), dafs in England die Wiederholung des Versuches geglückt sei. Dasselbe theilte mir der Uebersetzer, Herr Lettsom, unter dem 26. Juni 1849 brieflich mit. Ich weifs nicht, ob sich diese Angaben auf Hunt's Versuche, oder auf andere beziehen.

Digitized by Google

aus. Mousson hält es danach für folgerecht, den Ursprung des Stromes zu suchen »in diesem Drucke, in der dadurch veränderten Berührung und den dadurch bewirkten schweifsigen oder anderen Absonderungen.« [1]

Bald darauf liefs sich Matteucci in dieser Angelegenheit vernehmen. »C'est avec le plus vif intérêt,« sagt er, »que j'ai répété cette »expérience. J'avais espéré qu'elle me tirerait, une fois pour toutes, »de l'incertitude dans laquelle je suis depuis la découverte de la contraction induite. Malgré un très-grand nombre d'expériences, dans »lesquelles j'ai tâché de découvrir la vraie nature de la contraction induite, j'ai dû à la fin conclure qu'il m'était impossible de décider si »la cause était un dégagement d'électricité par la contraction, ou un »véritable cas d'induction nerveuse.« Ich lege Werth auf diese Aeufserung. Sie zeigt unzweideutig, dafs Matteucci noch im Sommer 1849 keine Ahnung besafs von der negativen Schwankung des Muskelstromes bei der Zusammenziehung, die ich im Sommer 1842 entdeckte. Sie beweist auf's Neue, dafs die Angaben Matteucci's im *Essai* etc., die in meinem »*vorläufigen Abrifs*« auf die negative Schwankung gedeutet sind, sich nicht auf diese bezogen, sondern nur auf die Abnahme der mechanischen und elektromotorischen Leistungsfähigkeit der Muskeln, welche die unvermeidliche Folge anhaltender Zusammenziehung ist (Vergl. oben Abth. I. S. 11 ff.).

Bei der Wiederholung meines Versuches wendete Matteucci nur eine verdünnte Kochsalzlösung an. Die Nadel kam auf Null. Die Empfindlichkeit des Multiplicators findet sich nicht näher bestimmt. Es ist aber kein Grund vorhanden anzunehmen, dafs er anderer Art gewesen sei, als die Multiplicatoren, deren sich Matteucci sonst zu bedienen pflegt, d. h. von mehr als 2500—3000 Windungen (S. oben Bd. I. S. 119. Bd. II. Abth. I. S. 479). Als Matteucci abwechselnd den einen und den anderen Arm anspannte, erhielt er stets Nadelbewegungen von 15—20°, deren Gröfse jedoch der Stärke der Anstrengung nicht entsprach, und deren Richtung kein Gesetz erkennen liefs. Matteucci versuchte, gleich Despretz, vergeblich, durch die Zusammenziehung seiner Arme, statt die Nadel zur Ablenkung, den stromprüfenden Froschschenkel zum Zucken zu bringen. Im Gefühle seiner Unfehlbarkeit auf diesem Gebiete schliefst Matteucci: »J'ai donc bien démontré que, de l'expérience de M. du »Bois-Reymond, il ne résulte pas la preuve du développement de »l'électricité par la contraction musculaire« und wendet sich dann ge-

[1] Mittheilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich. Bd. I. S. 373. (18. Juni 1849).

Digitized by Google

gen Despretz, der bei Gelegenheit meines Versuches zugleich über alle übrigen thierisch-elektrischen Untersuchungen mit Anwendung des Multiplicators den Stab gebrochen hatte (S. oben S. 311).[1]

Buff in Giessen war mit keinem empfindlicheren Stromprüfer ausgerüstet als Despretz, Becquerel und Matteucci. Der ihm zu Gebote stehende Multiplicator war ein Kleiner'scher von 3000 Umgängen, dessen Nadel 30″ zu einer Schwingung brauchte. Der Multiplicator war mit Zuleitungsgefäfsen nach meiner Angabe, von der Arbeit des Herrn Hoss in Giessen, versehen. Die Wiederholung des Versuches in der von mir beschriebenen Art gelang trotzdem nicht, indem nur ungewisse Wirkungen erhalten wurden. Um aber den Strom zu verstärken, traf Buff, wie schon Mousson vor ihm (S. oben S. 313), die Anordnung, dafs sich mehrere Personen die befeuchteten Hände reichten, und Alle gleichzeitig den rechten oder gleichzeitig den linken Arm anstrengten, während die beiden Endglieder der Reihe die Verbindung mit dem Multiplicator herstellten. So brachten 16 Personen vereint eine Ablenkung von 10—12° stets in dem richtigen, von mir angegebenen Sinne hervor (Vergl. oben S. 288).[2]

Einige Wochen später hatte ich die Genugthuung, auf der Durchreise in Giessen mit den nämlichen Vorrichtungen in Gegenwart der Herren Buff, Bischoff, Ludwig aus Marburg, A. W. Hoffmann aus London einige Versuche auszuführen. Nachdem ich mich bemüht hatte,

[1] Comptes rendus etc. 25 Juin 1849. t. XXVIII. p. 783;° — L'Institut. No. 808. p. 202.° — Ganz übereinstimmend äufsert sich Matteucci noch über den Versuch in einer Abhandlung vom 1. April 1850, die in den Philosophical Transactions etc. For the Year 1850. P. II. p. 646° gedruckt steht, und in einem gegen mich gerichteten Schreiben an die Pariser Akademie vom 24. Mai desselben Jahres (Comptes rendus etc. 3 Juin 1850. t. XXX. p. 706;° — auch als besondere Schrift zu Florenz bei Lemonnier gedruckt unter dem Titel: Réponse aux deux dernières Lettres de M. du Bois-Reymond, insérées dans les n°s 17 et 18 des Comptes-rendus de l'Académie, et en général à toutes les observations faites par le même auteur sur quelques-unes de mes recherches d'électro-physiologie. p. 7°). In der Abhandlung in den Philosophical Transactions bedient sich Matteucci bereits, nach Mousson's, Buff's und Bancalari's Vorgange (S. oben S. 299. 313 und weiter unten im Text) der säulenartigen Anordnung zur Verstärkung des Stromes. Er liefs nicht weniger als 30—40 Menschen einen Kreis bilden, und, während alle den entsprechenden Arm anspannten, die beiden äufsersten den Nerven des stromprüfenden Froschschenkels berühren. Matteucci behauptet, dafs eine seiner Muskelsäulen aus nur wenigen Gliedern durch diesen Kreis hindurch Zuckung des stromprüfenden Schenkels hervorzubringen vermocht habe.

[2] Wöhler und Liebig's Annalen der Chemie und Pharmacie. 18. August 1849. Bd. LXX. S. 366° (13. Juli 1849); — Philosophical Magazine etc. 3. Ser. October 1849. vol. XXXV. p. 288.° — L'Institut. 1850. t. XVIII. No. 840. p. 48;° — Corrispondenza scientifica in Roma. No. 17. p. 138.°

Digitized by Google

die vortheilhaftesten Bedingungen herzustellen, die diese Vorrichtungen zuliefsen, gelang es mir sowohl als Herrn Prof. Buff auch ganz allein, ohne säulenartige Verbindung mehrerer Personen, die Nadel bis auf 2° stets in der richtigen Richtung, zur Ueberzeugung aller Anwesenden, durch die Anstrengung des einen oder des anderen Armes abzulenken (S. oben S. 296). Herr Buff hat die Güte gehabt, einen Bericht auch über diese Versuche in den *Annalen der Chemie und Pharmacie* zu veröffentlichen.[1]

Zu gleicher Zeit mit Mousson und Buff ist Bancalari in Genua, der Entdecker der Wirkung des Magnetes auf die Flamme, auf den Gedanken gekommen, den Strom beim willkürlichen Tetanus durch säulenartige Anordnung mehrerer Menschen zu verstärken. Bancalari benutzte einen Gourjon'schen Multiplicator von 3000 Windungen. Die Platinenden des Multiplicators tauchten nicht unmittelbar in die Gefäfse, in welche die Finger oder Hände getaucht werden sollten, sondern in Gefäfse, welche mit den ersteren durch dicke Baumwollendochte verbunden waren; eine Anordnung zum Vermeiden des Anwogens der Flüssigkeit gegen die Platten, welche wir schon oben Bd. I. S. 119 durch Matteucci kennen gelernt, jedoch an ihre Stelle die Umhüllung mit Fliefspapier gesetzt haben. Beim Zusammenziehen des einen oder anderen Armes erhielt Bancalari Ausschläge, welche sich nie über 5—6° erstreckten, häufig weit darunter blieben. Aber drei Personen, die einzeln nur 5—6° Ablenkung erzeugten, brachten zur Säule vereint 12° hervor. Es wird nicht gesagt, wie die Verbindung der einzelnen Personen unter sich vermittelt war, ob sie sich die Hände reichten, oder die Finger in eingeschaltete Gefäfse mit Salzlösung tauchten.

Schliefslich erklärt Bancalari, welcher diese Versuche sonst für tadelfreie Wiederholungen des meinigen ausgiebt, dafs er stets und unter allen Umständen die Richtung des Stromes umgekehrt wie ich, d. h. in dem angespannten Arme von der Schulter zur Hand gefunden habe. Dies reicht hin, um zu zeigen, dafs er es gar nicht mit dem wahren Strome wegen der Zusammenziehung zu thun gehabt habe. Wäre ein Zweifel darüber möglich, so würde er gehoben durch die Bemerkung Bancalari's, dafs beim Abspannen der Muskeln sich ein Strom kundgebe in umgekehrter Richtung von dem beim Anspannen. Dies stimmt nicht mit der Erscheinungsweise des Stromes beim willkürlichen Tetanus, wie wir sie oben S. 291 kennen gelernt haben. Dieser Strom verschwindet beim Anspannen der Arme nicht plötzlich, sondern nimmt allmälig genug an Stärke ab, damit die dadurch entwickelten Ladungen

[1] A. a. O. 3. November 1849. Bd. LXXI. S. 239.

Digitized by Google

in keinem Augenblick die Oberhand gewinnen, damit also die Gleichgewichtslage, um welche die Nadel schwingt, nie in den entgegengesetzten Quadranten von dem verlegt werde, in welchem der erste Ausschlag geschah. Es kann also wohl die Nadel im Rückschwung den Nullpunkt überschreiten, nie jedoch wird ihr Rückschwung so grofs, dafs er zu deuten wäre auf einen im Augenblick des Abspannens entstehenden Strom in umgekehrter Richtung von dem, der beim Anspannen entstand. Welchen Ursprungs der Strom gewesen sei, den Bancalari beobachtet und für den Strom wegen der Zusammenziehung gehalten hat, dies zu ermitteln kann wohl nicht unsere Aufgabe sein. Schwerlich jedoch ist Bancalari in Versuchen dieser Art sehr bewandert gewesen, da er in dem angeblichen Strom beim Abspannen nicht einmal den Strom der Ladungen erkannte, den der Strom beim Anspannen, gleichviel welcher Quelle er entsprang, auf den Platinenden entwickelt hatte.[1]

Zantedeschi, welcher demnächst hier das Wort nahm, hatte gleichfalls einen Gourjon'schen Multiplicator von 3000 Windungen. Die Platinenden desselben, welche bis auf eine Kreisfläche von 6^{mm} Durchmesser mit Firnifs bekleidet waren, fafste er zwischen Daumen und Zeigefinger, nachdem er diese mit Salzwasser angefeuchtet hatte. Wenn die Nadel sich von den ersten unregelmäfsigen Ausschlägen erholt hatte, beugte Zantedeschi entweder oder streckte den Arm. In beiden Fällen beobachtete er Ausschläge, die sich beim Strecken auf 35°, beim Beugen auf 18° beliefen, stets aber absteigend gerichtet waren, also umgekehrt wie ich es angegeben. Die Ströme sanken, während die Arme gestreckt und gebeugt gehalten wurden, sehr bald von ihrer Höhe herab, und ebenso bei öfterer Wiederholung des Versuches. Doch behauptet Zantedeschi, dafs, wenn die Wirkung durch die Strecker eines Armes erschöpft sei, man noch die Wirkung durch die Beuger wahrnehmen könne. Beim Nachlassen der Muskeln gebe sich ein Strom kund in umgekehrter Richtung von dem beim Anspannen. Die Erklärung dieses Stromes durch die freiwerdenden Ladungen bleibt auch hier unerwähnt. Da verschiedene Personen in diesen Versuchen eine verschiedene elektromotorische Kraft entwickeln, so habe die Verbindung mehrerer Menschen zur Säule häufig Schwächung, statt Verstärkung zum Erfolg (Vergl. oben S. 300).[2]

[1] Corrispondenza scientifica in Roma. 22 Agosto 1849. No. 11. p. 85.* — Vergl. auch Ivi, 10 Novembre 1849. No. 14. p. 114*, einige Bemerkungen von mir über Bancalari's Versuch.

[2] Zantedeschi, Annali di Fisica. 1849—1850. p. 13. 55;* — Corrispondenza scientifica in Roma. 3 Ottobre 1849. No. 13. p. 101;* — Ivi, 12 Decembre 1849. No. 15. p. 119.*

Digitized by Google

Herr Zantedeschi hat mir unter dem 28. October 1849 ferner brieflich mitgetheilt, dafs es ihm, bei demselben Verfahren, gelungen sei, durch den Strom bei der Zusammenziehung Zuckung des stromprüfenden Froschschenkels zu erregen. Statt des Multiplicators wurden in den Kreis der zwischen Daumen und Zeigefinger gehaltenen Platinplatten zwei Kupferstreifen geschaltet, welche auf einer Glasplatte in 40^{mm} Abstand aufgekittet waren. Auf den einen Kupferstreifen kam der Nerv, auf den anderen das Bein des stromprüfenden Schenkels zu liegen. Beim stofsweisen Anspannen und Abspannen der Muskeln zuckte der Schenkel. [1]

Ich brauche wohl nicht bemerklich zu machen, dafs Zantedeschi sich bei diesen Versuchen gänzlich getäuscht hat. Der Strom beim willkürlichen Tetanus ist, wie man gesehen hat, nicht im Stande, Zuckungen zu erregen, und ebensowenig vermag er die Nadel eines Multiplicators von 3000 Windungen bis zu 35° abzulenken. Beim Abspannen folgt ihm keine Bewegung der Nadel, der negative Kräfte zu Grunde lägen. Welch eine, dem Strom beim willkürlichen Tetanus völlig fremde Wirkung Zantedeschi, wie schon vor ihm mehrere andere, in die Irre geführt habe, wird die folgende Nummer (VII) lehren.

Nachdem ich übrigens Herrn Zantedeschi brieflich darauf aufmerksam gemacht hatte, dafs er am Multiplicator die Richtung des Stromes anders als ich angegeben habe, beeilte sich derselbe zu erklären, dafs dies nur ein Irrthum seinerseits, beruhend auf der Verwechselung der Pole der Multiplicatornadel, gewesen sei. [2]

Später hat Zantedeschi den Versuch am Multiplicator noch in der Art wiederholt, dafs er den mit Salzwasser befeuchteten kleinen Finger jeder Hand in einen an den Multiplicatordraht gelötheten silbernen Fingerhut steckte. Beim Anspannen der Armmuskeln seien 3 — 4° Ausschlag im aufsteigenden Sinne entstanden. Es ist möglich, obschon aus mancherlei Gründen noch immer stark zu bezweifeln, dafs Zantedeschi dabei wirklich den Strom wegen des willkürlichen Tetanus vor sich gehabt habe. [3]

[1] Dieser Brief findet sich abgedruckt in den Annali di Fisica. 1849—1850. p. 77.*

[2] Ivi, p. 160.*

[3] Ivi, p. 392.* — Der Vollständigkeit wegen mag hier auch erwähnt werden, dafs Marchiandi in Turin damals geglaubt hat gegen meinen Versuch eine Prioritätsreclamation zu Gunsten der Gelehrten Italiens erheben zu müssen. Und zwar gründet er diese Reclamation auf die oben Abth. I. S. 238. 243. 247. 259 erwähnten Versuche Puccinotti's und Pacinotti's in Pisa (Corrispondenza scientifica in Roma. No. 14. 10 Novembre 1849. p. 109*). Puccinotti selber besafs indefs Einsicht genug, um die ihm zugedachte Ehre abzulehnen (Gazzetta Toscana delle Scienze medico-fisiche. Anno VII. No. 35, 36. 4. Novembre 1849. p. 274;* — Corrispondenza

Digitized by Google

Zuletzt ist hier noch der Versuche Cima's zu gedenken. Auch ihm stand nur ein Gourjon'scher Multiplicator von 3000 Windungen zu Gebote. Das Nadelpaar schlug 33″ und ein Galvani'sches Präparat brachte bei der von Nobili angegebenen Versuchsweise (S. oben Bd. I. S. 104) einen Ausschlag von 30° hervor. Der Multiplicator war also wohl viel weniger empfindlich, als mein Multiplicator für den Muskelstrom und hätte nur unter den günstigsten Bedingungen eine Spur von Wirkung beim willkürlichen Tetanus zeigen können.

Cima fing an, nach meiner Angabe mit Platinenden in Kochsalzlösung zu arbeiten. Aber durch theoretische Betrachtungen geleitet, deren Ergebnifs nicht zur näheren Kenntnifsnahme einladet, ersetzte er auch in vielen Versuchen diese zuleitende Vorrichtung durch Gefäfse mit Quecksilber, worin einerseits verquickte Kupferplatten, andererseits die trockenen, manchmal auch die feuchten Finger getaucht wurden. Cima berichtet, dafs wenn er dreifsig Menschen einander die Hände reichen, und die beiden äufsersten die trockenen Finger in die Quecksilbergefäfse tauchen liefs, eine Säule aus acht halben Froschoberschenkeln durch diesen Kreis hindurch noch 20—25° Ausschlag hervorgebracht habe. Den eigentlich beabsichtigten Versuchen liefs Cima sehr zweckmäfsig einige Studien über Hautströme vorangehen. Er hat das Verdienst, zuerst darauf aufmerksam gemacht zu haben, wie unsicher das Verfahren sei, bei der säulenartigen Anordnung mehrerer Menschen zum Kreise, dieselben sich die Hände reichen zu lassen, indem das blofse Andrücken zweier befeuchteten inneren Handflächen gegeneinander bereits Anlafs zu Strömen gebe (Vergl. oben S. 300).

Zum Ziel gelangte übrigens Cima, wie sich bei seinen Hülfsmitteln von selbst versteht, trotz aller Mühe so wenig als seine Vorgänger. Als nur eine Person in der von mir angegebenen Art den Versuch anstellte, wobei, nach Becquerel's Vorgang, die Finger bis unterhalb des Spiegels der Flüssigkeit mit einer Fettschicht bekleidet waren, blieb die Nadel ganz unbewegt. Bei säulenartiger Anordnung mehrerer Men-

scientifica in Roma. No. 14. p. 112*). Zantedeschi aber nahm Marchiandi sehr übel, dafs er Puccinotti und Pacinotti die Priorität zugeschrieben habe, da sie vielmehr ihm und Fario, wegen ihrer gleichfalls oben Abth. I. S. 239 erwähnten Versuche, gebühre. Es gewährt ein gewisses Interesse zu beobachten, wie Zantedeschi, der offenbar ursprünglich nicht daran gedacht hatte, erst durch Marchiandi's Beginnen darauf aufmerksam wird, dafs sich auf jene Versuche allenfalls eine Reclamation gründen lasse; wie er mir sodann anfangs noch eine Stelle neben sich in der Geschichte dieser Entdeckung einräumt; zuletzt aber sich ein Herz fafst und nur noch allein von seinen Versuchen und von seinen Ergebnissen spricht. (Annali di Fisica. 1849—1850. p. 157;* — Corrispondenza scientifica in Roma. No. 16. p. 125;* — Annali di Fisica 1849—1850. p. 359. 392. 394.*)

Digitized by Google

schen fanden nur unregelmäfsige Wirkungen statt. Endlich bei Anwendung der Quecksilbergefäfse und mehrerer zur Säule verbundenen Individuen wurde eine Spur von Wirkung im Allgemeinen in richtiger Richtung beobachtet. Allein die Stärke des Stromes stand in keinem Verhältnifs zu der Zahl der Kettenglieder. Es wurden eben so grofse Wirkungen erhalten, wenn beide Arme gleichzeitig angespannt wurden. Im Augenblick des Anspannens fand ein erneuter Ausschlag in demselben Sinne statt, wie vorher. Wahrscheinlich mit Recht vermuthete Cima, dafs diese Wirkungen von nichts herrührten, als von der veränderten Innigkeit und Ausdehnung der Berührung zwischen den Händen der verschiedenen zum Kreise verbundenen Personen. Er schaltete deshalb Gefäfse mit Kochsalzlösung zwischen je zwei Personen ein, und liefs die Finger darin tauchen. Allein nun brachte wieder die unsichere Haltung der Finger in den Gefäfsen Störungen hervor. Endlich wendete sich auch Cima zum Gebrauch des stromprüfenden Froschschenkels, dem er fälschlich eine weit gröfsere Empfindlichkeit zuschreibt als dem Multiplicator (S. oben Bd. I. S. 160). Und er gelangt zu dem Schlusse: »Finalmente il fatto della nessuna proporzionalità della intensità »della corrente col grado della contrazione, ottenuta col galvanometro, »e i risultati costantemente negativi ottenuti coll' uso della rana »galvanoscopica, non ci permettono di ammettere come dimostrato il »fatto annunziato dal sig. du Bois-Reymond.« [1]

So standen die Dinge, als ich im Frühjahr 1850 Gelegenheit hatte, mit meinen Instrumenten versehen, mich einige Zeit in Paris aufzuhalten. Einige Mittheilungen, die ich der Akademie der Wissenschaften daselbst machte,[2] veranlafsten diese, eine Commission, bestehend aus den Herren Magendie, Despretz, Rayer und Pouillet, mit der näheren Kenntnifsnahme meiner Untersuchungen zu beauftragen, der sich Herr Becquerel freiwillig anschlofs. Nachdem die Commission zu wiederholten Malen meinen Versuchen beigewohnt hatte, stattete sie am 15. Juli d. J. der Akademie ihren Bericht ab, der Pouillet zum Verfasser hat.[3] Es ist hier nicht der Ort, näher auf diesen Bericht einzugehen. Es

[1] Annali di Fisica, Chimica e Scienze affini T. II. Fasc. 6. p. 225.*. (1 Mai 1850.)

[2] Comptes rendus etc. 25 Mars 1850. t. XXX. p. 349;* — 8 Avril 1850. p. 406;* — L'Institut. t. XVIII. No. 847. p. 97.* No. 850. p. 123;* — Annales de Chimie et de Physique. 3. Série. t. XXX. p. 119. 178;* — Corrispondenza scientifica in Roma. No. 19. p. 153.* No. 21. p. 169;* — Archives des Sciences physiques et naturelles. 1850. t. XIV. p. 105.*

[3] Comptes rendus etc. t. XXXI. p. 28;* — L'Institut. t. XVIII. No. 863. p. 224.* No. 864. p. 235.* No. 866. p. 251;* — Archives générales de Médecine. 4. Sér. t. XXIII. p. 528;* — Archiv für physiologische Heilkunde. Bd. IX. S. 663.*

Digitized by Google

genüge die Bemerkung, dafs, wenn ich bisher dazu geschwiegen habe und noch schweige, der Grund davon nicht ist, dafs ich mich den darin gefällten Urtheilen unterwerfe.

Was den hier in Rede stehenden Versuch betrifft, so erkannte der Bericht die Wahrheit meiner Aussagen nunmehr mit aller Freimüthigkeit unbedingt an, und machte dadurch der Reihe unfruchtbarer Bemühungen zur Wiederholung des Versuches, wie wir sie im Vorigen kennen gelernt haben, glücklich ein Ende. Es wurde fortan aus dem Mifslingen des Versuches nicht mehr ohne Weiteres der Schlufs gezogen, dafs ich mich getäuscht habe, sondern es mufste wohl oder übel nun auch noch die andere Möglichkeit zugegeben werden, dafs man nicht die Hülfsmittel, vielleicht auch nicht die hinlängliche Uebung in den hier nöthigen Handgriffen besitze, um meine Angaben bestätigen zu können. Gegen die Bedeutung des Versuches aber, wie ich sie in meiner ersten Mittheilung an die Pariser Akademie hingestellt hatte, und wie sie im Vorigen von mir festgehalten worden ist, erhob der Bericht Bedenken, auf die wir alsbald näher zurückkommen werden.

(VII) Ueber die von Despretz, Hunt, Mousson und Zantedeschi beobachteten falschen Ströme beim willkürlichen Tetanus.

Die im Vorigen geschilderten Bestrebungen zur Wiederholung des in Rede stehenden Versuches sind zunächst sämmtlich daran gescheitert, dafs die Multiplicatoren, deren man sich bediente, nicht empfindlich genug waren. Alle diese Multiplicatoren waren, wie bereits mehrmals bemerkt wurde, nur der Art, dafs sie, unter den günstigsten Bedingungen, höchstens eine Spur von Wirkung im Bereich von $1-2°$ hätten zeigen können. Unter diesen günstigen Bedingungen ist zu verstehen die Anwendung ausgedehnter, völlig gleichartiger, und vor jeder Störung der Gleichartigkeit während des Versuches geschützter Platinelektroden; einer Zuleitungsflüssigkeit ferner, die der Haut die hinlängliche Leitungsfähigkeit ertheilt (S. oben S. 191. 196), aber doch noch die Abgleichung der Platinenden im verlangten Mafse gestattet; die Bewältigung der von Seiten der Hautungleichartigkeiten drohenden Störungen; endlich das Gebieten über ein Paar muskelkräftige wohlgeübte Arme. Mit den Schwierigkeiten, diese Bedingungen herzustellen, sind wir nur zu wohl vertraut. Kein Wunder also, wenn Versuche, in denen nur die eine oder die andere derselben durch Zufall erfüllt sein mochte, nur selten zu scheinbar günstigen, stets zu ungewissen Ergebnissen führten.

Diese Art des Erfolges unter den oben aufgezählten ist jedoch unter die besseren zu rechnen. Weit mehr vom Ziel ab irrten diejenigen,

Digitized by Google

die, wie Despretz, Hunt, Mousson, Zantedeschi, Cima, den von mir empfohlenen Weg der Stromableitung verliefsen und die metallischen Multiplicatorenden unmittelbar mit der Haut in Berührung brachten.

Ich habe, im Beginn dieser Untersuchungen (S. oben Bd. I. S. 209), die Gründe auseinandergesetzt, weshalb es unmöglich ist, mit Hülfe der Methode des Anlegens metallischer Multiplicatorenden an die thierischen Theile unmittelbar sichere thierisch-elektrische Versuche anzustellen, wenn es sich nicht um Wirkungen von solcher Stärke handelt, wie etwa die Zitterfische sie darbieten. Wir sahen, dafs man bei dieser Methode für die Gleichartigkeit der metallischen Multiplicatorenden jeglicher Bürgschaft entbehrt; dafs, selbst wenn man diese Enden vorher auf das sorgfältigste abgeglichen hat, sie doch sofort wieder ungleichartig erscheinen, wenn sie nicht unverrückt in der nämlichen Flüssigkeit bleiben, in der die Abgleichung geschah; endlich dafs nach Fechner's Grundsätzen elektromotorische Unterschiede an der Oberfläche der thierischen Theile bei Berührung mit Metallen unmittelbar stärker wirken, als bei Berührung mit Flüssigkeiten. Am wenigsten von allen Metallen ist aber, nach dem oben ebendas. S. 81. 145. 146 Gesagten, das Quecksilber in dieser Art mit Sicherheit anwendbar, wegen des ewigen Wechsels seiner Oberfläche, wodurch eine auch nur annähernde Abgleichung derselben in der That unmöglich gemacht wird.

Nichtsdestoweniger findet es sich, dafs, vermöge eines unerwarteten Umstandes, Cima doch noch das beste Theil erwählte, indem er unter den Metallen dem Quecksilber den Vorzug gab. Erscheint es nämlich schon von diesem Standpunkt der Kenntnifs aus als kein glücklicher Gedanke, die Methode des Anlegens hier an die Stelle meiner Versuchsweise zu setzen, so liefs sich doch nicht vorhersehen, dafs dieser Gedanke in dem Mafs unglücklich sein würde, als es sich nun herausgestellt hat; dafs gerade in diesem besonderen Falle die unmittelbare Berührung der Metalle mit dem Körper zu den allerbedenklichsten Störungen Anlafs geben würde.

Man erinnert sich der seltsamen elektromotorischen Wirkungen, die bei Berührung des menschlichen Körpers mit Bäuschen eintraten in Folge einer durch Druck herbeigeführten Veränderung der Berührung (S. oben S. 222. 268). Ganz ähnliche Wirkungen geben sich zu erkennen, wenn man, statt der Bäusche, Metalle unmittelbar an den Körper anlegt und die Berührung durch stärkeres und geringeres Anpressen verändert. Um so gefährlicher ist hier die Erscheinungsweise dieser Wirkungen, als sie, im Gegensatze zu denen bei Anwendung der Bäusche, eine gewisse Gesetzmäfsigkeit erkennen lassen. Durch diese Gesetzmäfsigkeit ist Hunt, insbesondere aber Zantedeschi, in die Irre geführt worden.

Digitized by Google

Mousson hat sich nicht dadurch täuschen lassen. Despretz scheint sie sich nicht dargeboten zu haben.

Ich nahm zwei Streifen Platinblech von 48^{mm} Länge auf 4^{mm} Breite, und firnifste sie auf beiden Seiten mit Bernsteinlack, der durch Kienrufs gefärbt war, um besser seine Grenze zu sehen, und der Stetigkeit des Ueberzuges versichert zu sein. Die beiden Enden der Streifen blieben frei vom Lack, das eine in einer solchen Strecke, dafs es bequem in eine Poggendorff'sche Blechklemme befestigt werden konnte, das andere, welches zur Elektrode bestimmt war, in 6^{mm} Länge. Die freie Oberfläche auf jeder Seite der Elektrode betrug also nur 24 Quadratmillimeter. Die Fläche darf nicht gröfser sein, weil sonst bei der den Druck begleitenden Abplattung der Fingerspitzen gegeneinander neue Punkte der Haut mit dem Metall in Berührung kommen, wodurch die Wirkungen ganz unregelmäfsig werden.

Während das erstere Ende jeder Platte durch die Blechklemme mit dem Multiplicator für den Muskelstrom in Verbindung gesetzt war, fafste ich das andere zwischen Daumen und Zeigefinger, die ich vorher mit gesättigter Kochsalzlösung benetzt hatte. Beim ersten Schliefsen der Kette erfolgt stets ein Ausschlag von gröfserer oder geringerer Heftigkeit bald in dem einen, bald in dem anderen Sinne. Indessen kommt die Nadel meist in geringer Entfernung vom Nullpunkte zur Ruhe. Uebt man nun mit Daumen und Zeigefinger einen Druck auf die eine Elektrode aus, so wird die Nadel auf's Neue heftig abgelenkt, und zwar, wie ich im Widerspruch mit Mousson's und mit Zantedeschi's erster Angabe (S. oben S. 313. 317) finde, stets in dem Sinne, dafs der Strom aufsteigend ist in dem Arme, dessen Finger den Druck ausüben. Der Richtung nach ist also der Erfolg in der That, als ob die Nadel den Strom wegen der Zusammenziehung anzeigte. Da man nun, wenn man sämmtliche Muskeln des einen Armes anspannt, auch meist unwillkürlich den Druck auf die zwischen den Fingern gehaltene Elektrode verstärkt, so erklärt sich Hunt's und Zantedeschi's Täuschung, auf diese Art die von mir beschriebene Thatsache bestätigt zu haben.

Indessen gehört nur geringe Aufmerksamkeit dazu, um zu erkennen, dafs, obschon ein Bruchtheil des aufsteigenden Stromes auf Rechnung der Zusammenziehung der Muskeln kommen mag, dies doch nur ein verschwindender Bruchtheil sein kann, und dafs der bei weitem gröfsere Theil des Stromes einer ganz anderen Ursache seine Entstehung verdankt.

Der erste Umstand, der für uns darauf hinweist, wenn er auch für Hunt und Zantedeschi die gleiche Bedeutung nicht wohl haben konnte, ist die verhältnifsmäfsig ungeheure Stärke des Stromes. Die

Digitized by Google

Nadel des Multiplicators für den Muskelstrom kann dadurch bis auf 50° getrieben werden. Wird statt des Multiplicators der Nerv des stromprüfenden Froschschenkels mit Hülfe der stromzuführenden Vorrichtung in den Kreis gebracht, so geräth, wie ZANTEDESCHI es gesehen hat, bei raschem Wechsel von Druck und Nachlassen des Drucks der Schenkel in lebhafte Zuckungen.

Für's zweite ist kein Unterschied zu bemerken in der Stärke der Wirkung, je nachdem man blos die Beuger des Zeigefingers und Daumens und den Gegensteller des letzteren anstrengt, oder gleichzeitig alle anderen Muskeln des Armes zusammenzieht. Dagegen wird, wie MOUSSON richtig gesehen hat, die Wirkung unmerklich, wenn man sich bemüht, die Muskeln des Armes anzuspannen, ohne dabei den Druck auf die Elektrode zu vermehren.

Drittens behält die Wirkung dieselbe Richtung und Stärke bei, wenn man, anstatt selber den Druck durch willkürliche Zusammenziehung auszuüben, Daumen und Zeigefinger durch einen Anderen zusammendrücken läfst. Diesen Einwurf hat sogar schon CIMA gegen ZANTEDESCHI's Versuche am stromprüfenden Froschschenkel gemacht. [1]

Endlich viertens bedarf es, um die in Rede stehende Wirkung zu erzeugen, überhaupt gar nicht einmal des menschlichen Körpers. Vielmehr läfst sich dieselbe Wirkung, und des geringeren Widerstandes halber sogar noch stärker beobachten, wenn man das feuchte Polster der Finger durch einen Bausch ersetzt. Auf nichtleitender Unterlage wird ein mit gesättigter Kochsalzlösung getränkter Bausch nach Art des Sattelbausches gelegt. Die Elektroden werden in einiger Entfernung von einander zwischen seine Lagen geschoben, so dafs die freie Oberfläche des Metalls ganz in dem Bausche steckt. Die Entfernung mufs grofs genug sein, damit ein Druck, den man auf den Bausch an der Stelle ausübt, wo die eine Elektrode liegt, sich nicht bis zur anderen Elektrode fortpflanze. Ist die Nadel zur Ruhe gekommen, und man übt auf den Bausch über der einen Elektrode mittelst der Finger oder einer Schraube, noch besser mittelst eines Gewichtes einen angemessenen Druck aus, so entsteht ein starker Ausschlag, der die gedrückte Elektrode wie vorher als positiv gegen die nicht gedrückte anzeigt.

Die Wirkung zeigt sich folglich überall abhängig vom Druck, der die Elektrode trifft, völlig unabhängig aber von der Betheiligung angespannter Muskeln. Damit ist die Sache, so weit sie uns angeht, eigentlich bereits abgethan. Es werden aber in der Folge sogar noch andere Gründe hinzutreten, um die Unabhängigkeit des beim Drücken

[1] Annali di Fisica, Chimica e Scienze affini. t. II. 1850. p. 237.

Digitized by Google

der Elektroden mit den Fingern entstehenden Stromes von der Zusammenziehung der Muskeln ersichtlich zu machen. Ich habe nämlich versucht, der Wirkung selber, welche Hunt und Zantedeschi getäuscht hat, etwas näher auf den Grund zu gehen. Jedoch bin ich, in diesem Bestreben, nicht sonderlich glücklich gewesen. Folgendes ist, was ich darüber habe ermitteln können.

Zunächst ist klar, dafs die Wirkung beim Zusammendrücken nicht beruht auf einer Verminderung des Widerstandes, wodurch ein bereits im Kreise gegenwärtiger Strom verstärkt würde. Denn jene Wirkung hat verschiedene Richtung im Kreise, je nachdem man die eine oder die andere Elektrode drückt; stets wird dadurch die gedrückte Elektrode positiv gemacht gegen die nicht gedrückte. Es kommt allerdings vor, dafs die Wirkung auf der einen Seite sehr viel kleiner ausfällt als auf der anderen, dafs sie auf der einen Seite ganz vermifst wird, ja dafs sie, wie auch Despretz berichtet,[1] auf beiden Seiten einerlei Richtung hat, wenn auch alsdann die Gröfse beider Ausschläge eine sehr verschiedene zu sein pflegt. Allein abgesehen davon, dafs in so rohen Versuchen keine vollkommene Regelmäfsigkeit der Erscheinungen zu verlangen ist, erklären sich jene Abweichungen leicht in folgender Art.

Wenn nach Herstellung des Kreises die Nadel auf Null zurückgekehrt ist, ist doch stets noch durch irgend eine Ungleichartigkeit ein Strom im Kreise vorhanden, nur durch Ladungen dergestalt bis zur Unmerklichkeit aufgewogen. Trifft nun der Druck die negative Elektrode dieses Stromes, so nimmt sie, weil der Druck zugleich als Erschütterung wirkt, an Negativität zu (S. oben Bd. I. S. 212. 239. 268. Bd. II. Abth. I. S. 190). Diese Zunahme an Negativität kann nun offenbar die Positivität, die der Druck aus anderen Ursachen der Elektrode zu ertheilen strebt, zum Theil oder ganz aufwiegen, ja überwiegen. Im ersten Fall sind nur die Wirkungen auf beiden Seiten ungleich, im zweiten ist die eine Null, im dritten haben sie gleiche Richtung bei ungleicher Gröfse. Obschon die Richtigkeit dieser Erklärung kaum zu bezweifeln ist, will ich doch nicht unterlassen zu bemerken, dafs es mir noch an Beobachtungen darüber fehlt, ob wirklich die Elektrode, die die schwächere Wirkung beim Drücken giebt, auch immer die negative Elektrode eines im Kreise vorhandenen Stromes ist.

Wie dem auch sei, die Bemerkung, dafs der auf die Elektroden ausgeübte Druck zugleich als Erschütterung wirke, ist vielleicht geeignet, uns auf die richtige Spur zu führen. Die Wirkung beim Drücken ist nämlich nicht beständiger Art. Wenn man bei Anstellung des Ver-

[1] Comptes rendus etc. 28 Mai 1849. t. XXVIII. p. 655.

Digitized by Google

suches mit den Fingern den Druck möglichst lange gleichmäfsig fortsetzt, so dafs die Nadel hinreichend ruhig wird, um eine neue Wirkung sicher anzeigen zu können, und man hört nun plötzlich zu drücken auf, so erfolgt im Allgemeinen nicht, wie ZANTEDESCHI es angiebt (S. oben S. 317), ein Ausschlag im Sinne der Ladungen des ersten Stromes, sondern abermals ein Ausschlag in derselben Richtung wie vorher. Erneuert man nach einiger Zeit den Druck, so erneuert sich auch der Ausschlag stets in derselben Richtung, wenngleich schwächer als das erste Mal, u. s. f. in's Unbestimmte. Zuletzt werden die Wirkungen sehr schwach und oft auch unregelmäfsig. Sicherer und schöner läfst sich diese Aufeinanderfolge von Wirkungen beobachten bei Anstellung des Versuches mit einem Bausch, zwischen dessen Lagen man die eine oder die andere Elektrode mit der Schraube oder dem Gewichte drückt, indem man hier einen beliebig starken Druck beliebig lange fortsetzen kann, so dafs die Nadel Zeit hat, gehörig zur Ruhe zu kommen. Beim Nachlassen wie beim erneuten Anziehen der Schraube, beim Abheben und Wiederumaufsetzen des Gewichtes, findet der Ausschlag statt im nämlichen Sinn wie beim ersten Druck.

Dafs ein Strom erregt werde, wenn man von zwei in einen Elektrolyten tauchenden gleichartigen Elektroden die eine bewege, ist schon früher mehrmals beobachtet worden. Nach STURGEON wird von zwei in verdünnter Salzsäure befindlichen Eisendrähten der erschütterte negativ.[1] Bewegtes Zinn gegen ruhendes verhält sich nach FARADAY in verdünnter Salpetersäure positiv,[2] Zink, verquickt und unverquickt, nach POGGENDORFF in verdünnter Schwefelsäure negativ.[3] Endlich hat BEETZ, wie ich aus mündlicher Mittheilung weifs, häufig zu bemerken Gelegenheit gehabt, dafs bewegtes Platin in verdünnter Schwefelsäure positiv gegen ruhendes erscheint.[4]

Eine Wirkung der Art also könnte auch hier zu Grunde liegen. Ein Weg, um dies nachzuweisen, würde sichtlich sein, zu zeigen, dafs

[1] Recent experimental Researches in Electromagnetism and Galvanism. 1830; — Annals of Electricity, Magnetism and Chemistry etc. vol. VI. p. 408.“

[2] Experimental Researches in Electricity. Reprinted from the Philosophical Transactions. vol. II. London 1844. p. 61. Series XVII. January 1840. 1919;“ — POGGENDORFF's Annalen u. s. w. 1841. Bd. LIII. S. 319.“

[3] Annalen u. s. w. 1840. Bd. XLIX. S. 42 Anm.“

[4] BECQUEREL sagt in seinem Traité expérimental de l'Électricité et du Magnétisme etc. t. II. p. 76:“ »Quand on plonge...., dans l'acide nitrique, deux lames »de cuivre en communication avec le multiplicateur, le courant change plusieurs »fois de direction, pour peu que l'on déplace les lames.« Dieser Satz ist unverständlich, scheint aber doch auf eine den hier in Rede stehenden ähnliche Beobachtung zu deuten.

Digitized by Google

die Wirkung des Drucks und die des Erschütterns bei einerlei Natur des Metalls sowohl als des Elektrolyten die nämliche Richtung und auch die nämliche verhältnifsmäfsige Stärke besitzen. Dies habe ich zu leisten versucht; allein die Uebereinstimmung, die sich herausgestellt hat, ist nicht gerade sehr befriedigend zu nennen.

Ich habe mit drei Metallen experimentirt, mit Platin, mit Kupfer und mit Zink. Die Elektroden hatten sämmtlich die oben S. 323 angegebene Gröfse, und waren ebenso, wie daselbst beschrieben ist, mit schwarzem Bernsteinlack gefirnifst. Bernsteinlack hatte ich gewählt, weil er selbst von ziemlich concentrirten alkalischen Auflösungen nur mäfsig angegriffen wird. Die Versuchsweisen bei Anstellung des Versuches mit den Fingern und mit einem Bausch waren die nämlichen, wie oben. Um die Wirkung der Erschütterung der Elektroden in einer sie frei umspühlenden Flüssigkeit zu erforschen, wurden zwei Näpfchen mit der zu prüfenden Flüssigkeit gefüllt, und durch einen mit derselben Flüssigkeit getränkten Bausch verbunden. In jedes Näpfchen liefs ich eine der Elektroden so tief hinabhängen, dafs die Lackschicht bis unter den Spiegel der Flüssigkeit reichte, und schüttelte abwechselnd eine der Elektroden mit der Hand, wenn die Nadel zur Ruhe gekommen war.

Die Ergebnisse der Versuche, was die Richtung der Ausschläge anbetrifft, finden sich in folgender Tabelle zusammengestellt, in der übrigens, der Vollständigkeit halber, auch mehrere Versuche aufgenommen sind, welche ohne Bezug auf die schwebende Frage sind. Ein Pluszeichen in einem Fache bedeutet, dafs die gedrückte oder erschütterte Elektrode sich positiv verhält, beim Fingerdruck alsdann zugleich, dafs der Strom im drückenden Arme aufsteigend ist wie bei der Zusammenziehung; ein Minuszeichen, dafs das Entgegengesetzte der Fall ist; beide Zeichen, dafs bald das Eine, bald das Andere eintritt; eine Null, dafs keine deutliche Wirkung erhalten wurde; ein Fragezeichen, dafs zwar Wirkungen vorhanden sind, aber so unregelmäfsig, dafs kein Gesetz derselben erhellt; endlich ein leeres Fach, dafs das betreffende Metall in der betreffenden Flüssigkeit, oder auf die betreffende Art, nicht geprüft worden ist. Die Angaben von Sturgeon (St), Faraday (F), Poggendorff (P), Beetz (B), Hunt (H) und Zantedeschi (Z) habe ich, gleichfalls der Vollständigkeit halber, auch noch dieser Tabelle einverleibt. Wo die Anfangsbuchstaben eingeklammert sind, habe ich selber den Versuch auch angestellt. Für die fremden Versuche gilt begreiflich die Angabe der Elektrodengröfse nicht.

Digitized by Google

Art des Versuchs.	48 Quadrat-Millimeter benetzter Oberfläche.	Unbenetzte Finger (Schweifs).	Brunnenwasser.	Gesättigte Kochsalzlösung.	Gesättigte schwefelsaure Kupferoxydlösung.	Gesättigte schwefelsaure Zinkoxydlösung.	Verdünnte Schwefelsäure.	Gemeine Salpetersäure.	Chlorwasserstoffsäure.	Concentrirte Essigsäure.	Verdünnte Kalihydratlösung.	Ammoniakflüssigkeit.
Versuche mit Fingerdruck.	Platin	+	+	+ (H, Z)			+	+		+	±	—
	Kupfer	—	—	—	—		—	—		—	+	+
	Zink	?	?	—		—	—				—	+
Versuche mit Zusammendrückung eines Bausches.	Platin		0	+			+				—	±
	Kupfer		+	—	+		—				+	—
	Zink		—	—		—	—				+	—
Versuche mit Schütteln freier Elektroden.	Platin		0	0			+ (B)				+	0
	Kupfer		+	+	+		+				—	—
	Zink		—	—		—	— (P)				—	—
	Verquicktes Zink						— P					
	Zinn							+ F	+ F			
	Eisen								— Sr			

Anmerkung. Zink im Bausch mit Kochsalzlösung und verdünnter Schwefelsäure gedrückt findet sich negativ angegeben. Es fand indefs dabei ein seltsamer Umstand statt. Dieser Erfolg trat nämlich nur zu Anfang ein. Hatten die Zinkplatten schon eine Weile zwischen den Lagen des Bausches zugebracht, so entstand beim Druck zuerst eine kleine negative Wirkung, die sich alsbald in eine ungleich gröfsere positive verkehrte. Die positive Wirkung überdauerte das Drücken selber, so dafs die Nadel in Folge des abwechselnden Drückens der einen und der anderen Elektrode bald in dem einen, bald in dem anderen Quadranten der Theilung zur Ruhe kam.

Digitized by Google

Ueber die Stärke der Wirkung sind natürlich genauere Angaben unmöglich, da man ja, ausgenommen höchstens bei Anwendung des Gewichtes bei der zweiten Versuchsweise, nicht zweimal denselben Druck in derselben Zeit auf dieselbe Art herbeiführt, bei der dritten Versuchsweise nicht zweimal das Schütteln auf dieselbe Art vornimmt. Es genüge daher die allgemeine Bemerkung, dafs die Gröfse der Ausschläge, wie leicht vorherzusehen war, bei allen drei Versuchsweisen mit dem Kupfer und dem Zink bedeutender ist als mit dem Platin, und mit den Salzlösungen und den Mineralsäuren wiederum bedeutender als mit dem Brunnenwasser, dem Schweifs der Finger, der Essigsäure und den alkalischen Flüssigkeiten. Dafs die Stärke der Wirkung in den Versuchen mit dem Fingerdruck weit kleiner ausfällt als bei den beiden anderen Versuchsweisen, ist für die erste von beiden schon oben S. 324 angedeutet worden, und versteht sich ohnehin von selbst. Bei den Versuchen mit dem menschlichen Körper wächst aber dafür, wie hier beiläufig erwähnt werden mag, die Wirkung ausnehmend rasch mit der Berührungsfläche zwischen Metall und Haut. Auch bei den anderen Versuchsweisen wird wohl die Wirkung mit der erregenden Fläche an Stärke zunehmen. Allein in den ersteren Versuchen kommt noch wesentlich in Betracht, dafs durch die Ausdehnung der Berührungsfläche in nahe gleichem Mafse der Widerstand der Oberhaut vermindert wird, der, namentlich bei Anwendung des Multiplicators für den Muskelstrom, einen so bedeutenden Theil des Widerstandes des Kreises ausmacht. Daher beim Ergreifen kupferner Handhaben mit der ganzen Hand, die mit gesättigter Kochsalzlösung benetzt ist, ein leichter Druck mit der einen oder mit der anderen Hand genügt, um die Nadel an die Hemmung zu schleudern in dem Sinne, der die gedrückte Handhabe als negativ anzeigt.

Hinsichtlich der Stärke der Wirkung hat sich somit zwischen den Versuchen mit Fingerdruck, mit Zusammendrückung eines Bausches und mit Schütteln freier Elektroden die gewünschte Uebereinstimmung ergeben (S. oben S. 326. 327). Indessen will dies nichts sagen. Ein Mangel an Uebereinstimmung wäre wohl bedeutend gewesen. Das Stattfinden der Uebereinstimmung aber kann auch einfach darauf bezogen werden, dafs überhaupt positivere Metalle in chemisch wirksameren Flüssigkeiten stärkere Wirkungen zulassen. Um also die Frage zu entscheiden, ob in der That die Wirkung in den drei Versuchsweisen für einerlei gehalten werden dürfe, haben wir uns zu halten an die Betrachtung der Richtungen, in denen die Ausschläge in den drei Fällen bei Anwendung desselben Metalls und derselben Flüssigkeit erfolgt sind. Und da lehrt

Digitized by Google

ein Blick auf obige Tabelle, dafs die Frage schwerlich ohne Weiteres bejaht werden dürfe.

Für Platin und Zink zwar stimmen die Ergebnisse leidlich überein. Nur hinsichtlich der alkalischen Flüssigkeiten zeigen sich Abweichungen. Für Kupfer dagegen findet fast gar keine Uebereinstimmung statt, die Abweichung wird zur Regel. Beim Schütteln freier Kupferelektroden hat der Ausschlag in allen Flüssigkeiten die umgekehrte Richtung von der, die er beim Drücken der Elektroden zwischen den mit denselben Flüssigkeiten benetzten Fingern zeigt. Was aber noch unerwarteter ist, nicht einmal die Ergebnisse beim Drücken der Kupferelektroden zwischen den Lagen eines Bausches und zwischen den Fingern stimmen hinreichend überein.

Unter diesen Umständen habe ich es aufgegeben, diese Angelegenheit, die ich zuerst in einem raschen Anlauf zu erledigen gedachte, selber bereits jetzt zu Ende zu führen. Um so gerechtfertigter schien mir dies, als sie, wie schon bemerkt (S. oben S. 324), für den Gang meiner Untersuchung jede Bedeutung eingebüfst hatte, sobald einmal der Ursprung der Ausschläge beim Zusammendrücken der Elektroden mit den Fingern in etwas anderem nachgewiesen war, als in der Anstrengung der Muskeln. An einem solchen, der Muskelzusammenziehung fremden Ursprung jener Ausschläge aber kann jetzt vollends nicht mehr gezweifelt werden. Nicht nur dafs wir abermals mit gänzlicher Beseitigung des menschlichen Körpers aus dem Kreise, jetzt sogar ohne Druck, durch bloſses Erschüttern der Elektroden in der sie frei umspühlenden Flüssigkeit, Wirkungen erhalten haben, die denen beim Drücken der Elektroden mit den Fingern, wenn auch nicht völlig gleich zu stellen, doch unstreitig nahe verwandt sind. Es hat sich herausgestellt, dafs bei Anwendung alkalischer Flüssigkeit zum Benetzen der Finger, das Drücken der Platinelektroden theils in ihrer Richtung unsichere, theils entschieden in dem drückenden Arm absteigende Ausschläge giebt, die also gar keine Verwechselung mehr mit der Wirkung wegen der Zusammenziehung zulassen. Andere Metalle, wie Kupfer und Zink, geben sogar mit Kochsalzlösung solche absteigende Ausschläge. Wenn das Glück gewollt hätte, dafs, statt der aufsteigenden Wirkung beim Drücken der mit Kochsalzlösung benetzten Platinelektroden, diese absteigenden Wirkungen den Beobachtern, die auf diesem Wege meinen Versuch zu wiederholen glaubten, zuerst aufgestoſsen wären, so würde die ganze Täuschung, die wir aufzudecken hier bestrebt gewesen sind, vielleicht vermieden worden sein.

Bei der geschilderten Sachlage versteht es sich von selbst, dafs

Digitized by Google

von einer tiefer gehenden physikalischen Zergliederung der beobachteten Wirkungen die Rede nicht sein kann. Nichtsdestoweniger läfst sich, wie mir scheint, bereits Folgendes sagen. Aller Wahrscheinlichkeit nach wird beim Drücken und Schütteln der Elektrode keine elektromotorische Kraft erzeugt, sondern nur diejenige verändert, die, nach bekannten Grundsätzen (S. oben S. 248), ihren Sitz hat an der Grenze des Metalls und der Flüssigkeit, gleichviel ob zwischen Metall und Flüssigkeit allein, oder zugleich zwischen dem unveränderten Metall und einer dünnen durch die Flüssigkeit veränderten Schicht desselben. Wo die Wirkung beim Drücken oder beim Erschüttern dahin geht, das Metall positiver erscheinen zu lassen, da mufs sie entweder eine aus dem Metall in die Flüssigkeit gerichtete Kraft vermehren, oder sie mufs eine umgekehrt gerichtete Kraft vermindern. Die umgekehrten Schlüsse gelten, wo die Wirkung dahin geht, das Metall negativer erscheinen zu lassen. Freilich zieht diese Vorstellungsweise eine seltsame Folge nach sich. Denn im Allgemeinen hat die elektromotorische Kraft zwischen verschiedenen Metallen und einerlei Flüssigkeit, so viel man weifs, auch einerlei Richtung.[1] Wenn also der Druck und die Erschütterung ein Metall in einer Flüssigkeit positiver, ein anderes in derselben Flüssigkeit negativer erscheinen lassen, so mufs man sich denken, dafs der Druck und die Erschütterung die Kraft für das eine Metall vermehren, für das andere sie vermindern. Es ist aber schwer, sich vorzustellen, wie die gleiche Ursache unter scheinbar so ähnlichen Umständen so den umgekehrten Erfolg herbeiführen könne. Giebt man aber zu, dafs bei Platin der Druck und die Erschütterung die Kraft vermindern, beim Kupfer und beim Zink sie vermehren, so erscheint wenigstens der Umstand in der Ordnung, dafs bei alkalischen Flüssigkeiten die Wirkung meist die umgekehrte Richtung zeigt von der bei sauren Flüssigkeiten und Salzlösungen. Denn Platin in Salpetersäure, Schwefelsäure, Chlorwasserstoffsäure, salpetersaurer Silberoxydlösung stehend, ladet nach Fechner durch sein hervorragendes Ende den Condensator positiv, in Kalilauge negativ.[2]

Zu bemerken ist noch in Bezug auf den Gegenstand der Anmerkung zur Tabelle oben S. 328, dafs, nach Fechner, von zwei ungleichzeitig in Kochsalzlösung eingetauchten Stücken destillirten Zinkes sich das jüngst eingetauchte erst positiv, dann negativ verhält.[3]

[1] S. Fechner in Poggendorff's Annalen u. s. w. 1839. Bd. XLVIII. S. 269.* — Platin, Kupfer und Zink mit Kalilauge.

[2] Poggendorff's Annalen u. s. w. 1839. Bd. XLVII. S. 22. 25. 28;* — Bd. XLVIII. S. 267.*

[3] Ebendas. Bd. XLVII. S. 31. 32.*

Digitized by Google

(VIII) Betrachtungen über die Ströme beim willkürlichen Tetanus und Entwickelung einiger Bedenken gegen die Deutung derselben als Ausdruck der negativen Schwankung des Muskelstromes der menschlichen Gliedmafsen.

Nach diesen Abschweifungen nehmen wir den Faden unserer eigentlichen Untersuchung wieder auf. Es ist Zeit, die gewonnenen Ergebnisse im Zusammenhang zu überblicken und sie gegen einige Einwürfe zu sichern, die dagegen erhoben werden können.

Es war unser Zweck, am lebenden unversehrten menschlichen Körper wo möglich den ruhenden Muskelstrom und seine negative Schwankung bei der Zusammenziehung nachzuweisen. Nachdem wir uns aber in den ersten Nummern dieses Paragraphen mit den elektromotorischen Wirkungen der Haut vertraut gemacht hatten, waren wir zu der Einsicht gelangt, dafs auf das Erstere Verzicht zu leisten sei. Vermöge unserer Kenntnifs der parelektronomischen Schicht am natürlichen Querschnitt der Muskeln und ihres Verhaltens bei der Zusammenziehung sahen wir indessen, dafs aus dem Mifslingen des einen Unternehmens durchaus kein Schlufs zu ziehen sei auf die gleiche Unmöglichkeit des anderen. Der Erfolg scheint zu lehren, dafs diese Ansicht die richtige war. Wir haben eine elektromotorische Wirkung entdeckt, welche den willkürlichen Tetanus der Gliedmafsen des menschlichen Körpers stets begleitet.

Darüber, dafs diese Wirkung in der That stattfinde, und dafs sie von dem menschlichen Körper ausgehe, brauche ich jetzt wohl kaum noch Worte zu verlieren.

Dafs so Viele sich aufser Stande gefunden haben, die Wirkung zu beobachten, beweist nur, was ich auch nie behauptet habe, dafs dies nicht Jedermanns Sache sei, nicht, dafs meine eigene Beobachtung falsch sei. Nach dem Bericht über die darauf verwendeten Bemühungen, der in der vorletzten Nummer mitgetheilt wurde, wird dies wohl genugsam einleuchten. Haben doch von jenen Beobachtern die, welche Thermoströme beim Eintauchen der Finger in die mit ungleich warmer Lösung gefüllten Gefäfse vermutheten, diese Ströme auch nicht wahrzunehmen vermocht, die so sehr viel leichter nachzuweisen sind.

Die Wirklichkeit des Stromes beim willkürlichen Tetanus also kann nicht wohl mehr Gegenstand der Erörterung sein. Was den Ursprung dieses Stromes betrifft, so könnte man, um denselben zu verdächtigen, zuerst an eine Störung von Seiten der metallischen Multiplicatorenden denken. Eine solche könnte indefs bei meiner Versuchsweise nur von einer Erschütterung derselben herrühren. Eine Erschütterung der Art

Digitized by Google

findet nun zwar zu Zeiten statt. Bei dem heftigen Anspannen der Gliedmafsen kommt es vor, dafs sie selber und was ihnen zum Stützpunkt dient, mit ihnen, in zitternde Bewegung gerathen. Es ist möglich, dafs sich diese bis auf die Zuleitungsplatten erstreckt. Allein man kann, während das Schliefsungsrohr aufliegt, den Arbeitstisch nebst der zuleitenden Vorrichtung in weit heftigere Schwingungen versetzen; man kann die Flüssigkeit in der Nähe der Platinplatten mit einem Glasstab heftig umrühren; ja man kann die wagerechte Stange, welche die Platinplatten trägt, in dem doppelt durchbohrten Klotze lösen, in dem sie sich verschiebt (S. Fig. 6 Taf. I. Bd. I.), und die Platinplatten in der Flüssigkeit lebhaft schütteln; die Nadel des Multiplicators für den Nervenstrom bleibt unbewegt, trotz der so sehr viel besseren Leitungsfähigkeit des Kreises und trotzdem in den beiden letzten Fällen die Erschütterung nur in dem einen Gefäfse vor sich geht, da sich, bei gemeinsamer Erschütterung beider, doch nur der Unterschied der in beiden stattfindenden Wirkungen kundgeben könnte, von dem ohnehin nicht zu begreifen ist, wie er stets einerlei Richtung haben sollte in Bezug auf die angespannte Gliedmafse. So haben wir auch schon oben (S. die Tabelle S. 328), freilich bei kleinerer erregender Oberfläche und nur am Multiplicator für den Muskelstrom, das Schütteln der einen von zwei in gesättigte Kochsalzlösung tauchenden Platinelektroden unwirksam gefunden.

Aber man könnte einwenden, dafs wir hier mit gleichartigen, ungeladenen Elektroden den Gegenversuch anstellen, während beim wirklichen Versuch meist ein voraufgegangener Strom die Platinplatten polarisirt habe. Der Einwand ist nichtig, denn erstens müfste der Strom alsdann beim Anspannen beider Arme dieselbe Richtung haben, was nicht der Fall ist, für's zweite büfst, wie ich gefunden habe, für so schwache Ströme, wie sie hier in Betracht kommen, der Vorsselmann de Heer'sche Schüttelversuch seine Geltung ein. Ich nahm in den Kreis des Multiplicators für den Nervenstrom und der Zuleitungsgefäfse mit ihrem Schliefsungsrohr eine schwache Säure-Alkali-Kette nach Art der oben Abth. I. S. 441 beschriebenen auf. Nach vollständiger Entwickelung der Ladungen hielt sie die Nadel auf etwa 50° beständiger Ablenkung. Unter diesen Umständen konnte ich das Paar Zuleitungsplatten, welches als negative Elektrode diente, schütteln so viel ich wollte; die Nadel blieb unbewegt, beiläufig ganz im Einklang damit, dafs auch Aufhebung des Luftdrucks die Ladungen innerhalb dieses Bereiches von Stromstärken unverändert läfst (S. oben Abth. I. S. 191).

Also vom menschlichen Körper rührt die Wirkung her. Aber viel-

Digitized by Google

leicht stammt sie blos von den unvermeidlichen kleinen Bewegungen des eingetauchten Körpertheiles her, die, trotz den getroffenen Vorkehrungen, beim Anspannen der Gliedmafsen doch wohl noch stets zu befürchten sind. Auch dies ist nicht der Fall. Wird der Versuch regelrecht angestellt; hat man den eingetauchten Theil hinreichend lange in der Zuleitungsflüssigkeit gehalten; hat man Sorge getragen, ihn zu Anfang tiefer einzutauchen, als man ihn beim Anspannen zu halten gedenkt, damit, falls dabei die Tiefe schwanken sollte, bis zu der er eintaucht, doch nicht neue Punkte der Haut mit der Flüssigkeit in Berührung kommen (S. oben S. 282): so kann man ihn in der Flüssigkeit bewegen wie man will, es wird keine deutliche Wirkung auf die Nadel verspürt.

Von dieser Art von Einwürfen gegen die in Rede stehenden Versuche kann, wie gesagt, die Rede nicht mehr sein. Dagegen kann allerdings gefragt werden, ob die elektromotorische Wirkung, die ohne Zweifel den willkürlichen Tetanus begleitet, der negativen Schwankung des Muskelstromes der menschlichen Gliedmafsen zuzuschreiben sei.

Wir haben zwar bisher keinen Grund gefunden, daran zu zweifeln. Was die Stärke und Richtung der Wirkung betrifft, so ist schon zur Genüge auseinandergesetzt worden, dafs beide Umstände hier ganz bedeutungslos sind. So wenig wir darin ein Merkmal der negativen Schwankung haben erblicken können, so wenig haben wir uns daran zu stofsen gehabt, dafs die elektromotorische Wirkung beim willkürlichen Tetanus gerade diese und keine andere Richtung einhält, und gerade diese und keine andere Gröfse besitzt. Nur Eins war in Bezug auf die Stärke der Wirkung zu verlangen, und dies ist im vollsten Mafse eingetroffen. Diese Stärke mufste gleichen Schritt halten mit der Entwickelung, der Uebung, der jedesmaligen Anstrengung der Muskeln, und so haben wir es gefunden. Wir haben ferner, wie wir es nach dem Vorgang an einzelnen Froschmuskeln erwarten mufsten, im Gefolge dieser Wirkung eine im gleichen Sinne stattfindende Nachwirkung erkannt, welche allmälig dem natürlichen Zustande Platz macht. Allerdings erscheint diese Nachwirkung hier verhältnifsmäfsig stärker als wir sie an den Froschmuskeln sahen. Allein es fehlt nicht an Gründen, um diese Abweichung zu beschönigen. Endlich haben wir wohl die secundäre Zuckung des stromprüfenden Schenkels durch die muthmafsliche negative Schwankung des Muskelstromes der menschlichen Gliedmafsen vermifst. Indefs auch hiefür liefsen sich, dem Anschein nach, sehr triftige Gründe beibringen.

Von dem Verhalten der Ströme beim willkürlichen Tetanus bei Anwendung anderer Zuleitungsflüssigkeiten als der Kochsalz- und der schwefelsauren Kupferoxydlösung (S. oben S. 297) ist noch nicht die

Digitized by Google

Rede gewesen. Es versteht sich, dafs ich dies Verhalten in allen den Flüssigkeiten geprüft habe, die in dem Vorigen vorgekommen sind, nämlich im Brunnenwasser, der verdünnten Schwefelsäure, der Kalihydrat- und der essigsauren Natronlösung, und zwar in den drei ersten auch fast bei allen den Anordnungen, die in der Kochsalzlösung angewandt und unter (II) aufgezählt worden sind. Der Erfolg war der Richtung nach stets derselbe als in der Kochsalzlösung. Der Gröfse nach liefs er nur solche Abweichungen wahrnehmen, die auf den verschiedenen Widerstand des Kreises gedeutet werden konnten. Also auch diese Probe besteht er, wie er soll. Dies beweist, wie man sich erinnert, zwar nicht, dafs der Strom bei der Zusammenziehung aus den Muskeln stamme. Wir haben mehrere Beispiele von Strömen gehabt, die ebenfalls in den verschiedenartigsten Flüssigkeiten ihre Richtung unverändert beibehalten, trotzdem dafs sie unzweifelhaft Hautströme sind (S. oben S. 273). Aber der entgegengesetzte Erfolg hätte jenem Strom mit Bestimmtheit einen anderen Ursprung als in den Muskeln angewiesen.

Wie die Sachen stehen, sieht man, dafs die von uns beim willkürlichen Tetanus beobachtete elektromotorische Wirkung, so weit wir sie erforscht haben, sich ohne allen Zwang betrachten läfst als der Ausdruck der negativen Schwankung des Muskelstromes der menschlichen Gliedmafsen. Es ist danach im höchsten Grade wahrscheinlich, dafs sie es in der That sei. Es ist um so wahrscheinlicher, als es wunderbar wäre, wenn die negative Schwankung nicht auf diese Weise, in der einen oder anderen Richtung und Gröfse, am menschlichen Körper sichtbar würde. Es ist endlich um so wahrscheinlicher, als es keine bekannte Wirkung giebt, die gleichzeitig bei der Zusammenziehung stattfindet, und der man den Ausschlag der Nadel zuschreiben könnte. Um also zu bezweifeln, dafs dieser Ausschlag herrührt von der negativen Schwankung des Muskelstromes, mufs man erstens läugnen, dafs eine Wirkung erscheine, von der es höchst wahrscheinlich ist, dafs sie erscheinen werde. Man mufs dies zweitens thun, obschon eine Wirkung auftritt, die mit der zu erwartenden hinreichend übereinstimmt. Man mufs drittens eine Hypothese aus der Luft greifen, um diese nun ganz unerklärliche Wirkung doch nicht der Ursach ermangeln zu lassen.

Ich mufs bekennen, dafs ich, für mein Theil, mich bei dieser Sachlage beruhigt hatte. Aber sei's, dafs ich an dieser Stelle meiner Untersuchungen, wie ich glaube, gegen meine Gewohnheit, mich zu voreiliger Siegesgewifsheit habe hinreifsen lassen, sei's dafs Anderen doch nicht so wie mir der Zusammenhang meiner Schlufsfolgerung vorschweben mochte; es scheint, als ob damit wenigstens einer grofsen Anzahl von

Digitized by Google

Gelehrten noch nicht volles Genüge geschehen sei. Sondern nachdem die Zweifel an der Richtigkeit des nackten Thatbestandes meiner Versuche endlich beseitigt waren, zog sich die Skepsis dieser Gelehrten, weit entfernt sich zu ergeben, hinter diese neue Verschanzung zurück. Was öffentlich in diesem Sinne verlautet hat, ist nur wenig. Aber durch zahlreiche Unterhaltungen und briefliche Mittheilung bin ich in Stand gesetzt, die Bedenken, welche man mir entgegenstellt, in folgender Art zusammenzufassen.

Erstlich bleibt es für Viele doch noch immer ein Stein des Anstofses, dafs die elektromotorische Wirkung beim willkürlichen Tetanus der menschlichen Gliedmafsen aufsteigend ist, während wir diese Wirkung beim Frosch absteigend gefunden haben.

Zweitens höre ich die Befürchtung äufsern, dafs der Strom bei der Zusammenziehung ein thermoëlektrischer sein möge, hervorgebracht durch die Temperaturerhöhung, welche die Muskelzusammenziehung begleitet.

Endlich drittens hat sich die Meinung gebildet, dafs der Strom bei der Zusammenziehung statt von den Muskeln, sehr wohl herrühren könne von einer irgend wie vermittelten elektromotorischen Veränderung der Haut der Finger.

Diese drei Punkte wollen wir jetzt nacheinander einer etwas genaueren Prüfung unterwerfen.

(IX) Untersuchung der negativen Schwankung des Muskelstromes an dem Unterschenkel des Kaninchens.

Cima,[1] Matteucci[2] und Pouillet, letzterer als Berichterstatter der Pariser Commission,[3] haben nacheinander auf den angeblichen Widerspruch in meinen Behauptungen aufmerksam gemacht, wonach die Wirkung bei der Zusammenziehung an den Beinen des Frosches absteigend, an den Armen des Menschen aufsteigend sein sollte. Pouillet drückt sich folgendermafsen aus:

»Mais pourquoi le courant est-il direct dans le premier cas (am »Frosch), et inverse[4] dans le second (am Menschen)? C'est-là un point

[1] Annali di Fisica, Chimica e Scienze affini. 1850. t. II. p. 239.* (1 Maggio 1850.)

[2] Réponse aux deux dernières lettres de M. de Bois-Reymond etc. Florence, Imprimerie de Le Monnier. p. 7* (24 Mai 1850); — Comptes rendus etc. 3 Juin 1850. t. XXX. p. 706.* — In meiner dritten Antwort an Matteucci (Comptes rendus etc. 22 Juillet 1850. t. XXX. p. 91*) habe ich durch eine Auseinandersetzung, ähnlich der oben S. 238 gegebenen, bereits gezeigt, dafs hier weniger ein Widerspruch auf meiner Seite, als ein Mifsverständnifs auf Seiten meiner Gegner obwalte.

[3] Comptes rendus etc. 15 Juillet 1850. t. XXXI. p. 28.*

[4] Ueber den Sinn der Ausdrücke direct und inverse vergl. oben Bd. I. S. 305.

Digitized by Google

»important; il est à regretter que M. du Bois-Reymond, qui a pris »soin de signaler lui-même cette différence, cette inversion constante »dans le sens du courant, n'ait pas senti la nécessité d'en expliquer »la raison: tant que cette explication ne sera pas donnée, on pourra »contester qu'il y ait une liaison nécessaire ou même une liaison quel»conque entre les deux expériences. D'après les principes de M. du »Bois-Reymond, l'effet d'une contraction soutenue n'est pas de faire »naître un courant, mais d'affaiblir et de suspendre par intermittence »un courant qui préexistait; il faut donc un courant préexistant, ou »plutôt il en faut deux qui soient égaux et opposés, et qui se neutra»lisent, puisque l'aiguille du galvanomètre est au zéro; l'un doit se »trouver essentiellement dans le bras qui va se contracter, et c'est lui »que la contraction affaiblira; l'autre, par raison de symétrie, doit se »trouver dans l'autre bras, et c'est lui que la contraction rendra pré»dominant. Ainsi, le courant que l'on observe au moment de la con»traction, n'est pas développé dans le bras contracté; il est, au con»traire, préexistant dans le bras au repos, et il se montre par cela »seul qu'il cesse d'être complètement neutralisé. Si la question doit, »en effet, être posée en ces termes, il nous semble que, pour assimiler »cette expérience aux précédentes, il ne reste plus qu'une condition à »remplir, c'est de démontrer nettement que les muscles du bras de »l'homme, sur lesquels s'exerce la contraction, si on les considère dans »leur état naturel, sont disposés de telle sorte qu'ils donnent naissance »à un courant direct continu, allant de l'épaule à la main, et qu'ils »donnent ce courant d'après les lois des sections longitudinales et trans»versales. Cette condition est indispensable; tant qu'elle ne sera pas »remplie, les expériences ne peuvent être assimilées.«

Wie man sieht, Pouillet kennt den Stand der Frage sehr gut.[1] Er übersieht vollkommen die Möglichkeit, dafs der ruhende Muskelstrom in den Armen des Menschen ein absteigender sein könne, während er in den Beinen des Frosches ein aufsteigender ist. Allein dies ist ihm nicht genug. Er will, dafs bewiesen werde, dafs auch wirklich der Strom in den Armen des Menschen absteigend sei.

[1] In Betreff der Vorstellungsweise Pouillet's, dafs der Strom beim willkürlichen Tetanus allein vom ruhenden Arm ausgehe, s. unten, (xii). Durch die Kenntnifs der parelektronomischen Schicht ist eine Aenderung jener Vorstellungsweise nöthig geworden. Ich pflegte aber, vor Bekanntmachung der Ergebnisse meiner Untersuchungen über die parelektronomische Schicht (Monatsberichte der Berliner Akademie. 30. Juni 1851. S. 380), die Dinge in der That so darzustellen, wie es oben von Pouillet geschehen ist. Was demnach jetzt, in dieser Beziehung, in seiner Darlegung mangelhaft erscheint, ist ihm nicht zur Last zu legen.

Digitized by Google

Leider ist es aus mehreren Gründen, wo nicht unmöglich, doch unendlich schwierig, diesem Wunsch zu willfahren. Ich brauche nicht zu wiederholen, was ich schon so oft gesagt habe, dafs nicht daran zu denken ist, auf theoretischem Wege die Resultante aus den Strömen zu bestimmen, welche die einzelnen Muskeln durch den Kreis senden. Ebenso unthunlich ist aber am lebenden unversehrten Menschen, wie wir gesehen haben, ihre Bestimmung auf experimentellem Wege. Man müfste also, um Pouillet's Wunsch zu erfüllen, über die Leiche eines muskelkräftigen Hingerichteten unmittelbar nach dem Tode verfügen. Am Orte der Hinrichtung oder in nächster Nähe desselben müfsten meine Vorrichtungen, wenn nicht die zartesten, doch vielleicht die launischsten aller Beobachtungswerkzeuge, schlagfertig aufgestellt sein. Man müfste von mehreren geschickten Anatomen umgeben sein, die mit gröfster Geschwindigkeit die Gliedmafsen bis auf die Fascia superficialis von ihren Hautbedeckungen befreiten, ohne irgendwo Muskeln zu verletzen, d. h. einen künstlichen Querschnitt bloszulegen.

Mit einem einzelnen Arm ginge der Versuch nun schon gar nicht. Denn wie sollte man vom Schulterende des Armes den Strom auf die nämliche Weise ableiten, wie diese Ableitung im unverletzten Körper geschieht? Man müfste also vielmehr, um ganz sicher zu gehen, die Präparation der Fascia superficialis vorn und hinten bis zur Mittellinie des Rumpfes und Halses fortsetzen und den Strom von beiden Händen ableiten oder, um den Widerstand der Oberhaut aufser Spiel zu bringen, von beiden unteren Gelenkflächen der Unterarme nach Exarticulation der Hände, wobei keine Muskeln verletzt werden. Der Strom des von der Haut entblöfsten Armes würde wegen der fortgefallenen Nebenschliefsung durch die Haut die Oberhand haben.

Besser würde sich der Unterschenkel zu diesem Versuch eignen, von dem wir jetzt wissen, dafs auch er beim willkürlichen Tetanus den aufsteigenden Strom giebt, also, wenn dieser Strom der Ausdruck der negativen Schwankung ist, in der Ruhe den absteigenden Strom besitzen mufs, da er doch mit dem in der Ruhe bekanntlich aufsteigend wirksamen Unterschenkel des Frosches eine viel gröfsere Aehnlichkeit des Baues besitzt, als der menschliche Arm mit dem Gesammtbein des Frosches. Um die Richtung des ruhenden Stromes am menschlichen Unterschenkel zu beobachten, könnte man, nach Herstellung des Fascienpräparats des Beines, den Fufs im Fufsgelenk exarticuliren, wobei kein Muskel verletzt zu werden braucht; nach Durchschneidung des Kniescheibenbandes die Unterschenkelstrecker aufwärts zurückschlagen, die Sehnen des Sartorius, Gracilis, Semitendinosus, Semimembranosus und Biceps abtrennen, und vom reingeschabten Femur nur so viel stehen

Digitized by Google

lassen, als nothwendig wäre, um die Gastroknemien und den M. popliteus unversehrt zu erhalten. Den Strom könnte man dann von der unteren Gelenkfläche der Tibia einerseits, und, bei gebeugtem Knie, von dem vorderen Theil der unteren Gelenkfläche des Femur ableiten. Zu diesem Versuch könnte übrigens auch eine hoch ausgeführte Amputation oder eine Exarticulation des Oberschenkels Gelegenheit bieten. Nur dafs wenige Fälle denkbar sind, wo diese Operation indicirt, und das Bein bis zum unteren Viertel des Femur noch zu unseren Zwecken brauchbar wäre.

Es gehört gewifs nicht viel Erfahrung in Unternehmungen dieser Art dazu, um die unsäglichen Schwierigkeiten zu ermessen, die man zu besiegen haben würde, um zu einem sicheren Ziele zu gelangen. Ohnehin würde ein einziger Versuch auch noch nicht beweisend sein. Endlich fragt es sich noch, ob nicht an so grofsen Muskelmassen, wie sie hier zur Untersuchung kämen, sich von Seiten der parelektronomischen Schicht unerwartete Störungen einer anderen Art einfinden würden. Es wäre nicht unmöglich, dafs an so langen Muskeln die Schicht an beiden natürlichen Querschnitten sehr verschiedene Ausbildung besäfse, und zwar die gröfsere bald an dem einen, bald an dem anderen Querschnitt. Die Richtung des von beiden sehnigen Enden abgeleiteten Stromes im ruhenden Zustande der Muskeln brauchte dann keine beständige mehr zu sein. Sie brauchte nicht mehr die entgegengesetzte zu sein von der, welche der Ausschlag beim Tetanisiren anzeigt. Es müfste also der Unterschenkel nach allen den zeitraubenden Vorkehrungen, nach der langwierigen Präparation, nach der Prüfung auf den ruhenden Strom, auch noch tetanisirt werden können mit der Sicherheit, dafs er sich noch in allen seinen Theilen mit gleicher Kraft zusammenzieht.

Ich mufs bekennen, dafs ich dies für unausführbar halte. Es wird jedoch sehr schätzenswerth sein, wenn Jemand, dem sich die Gelegenheit bietet, den Versuch machen will. Ich habe einstweilen gesucht, mich auf eine andere Art zu behelfen. Der angebliche Widerspruch in meinen Behauptungen, den Cima und Matteucci mir vorwerfen (S. oben S. 336), würde, ganz abgesehen von allen theoretischen Erörterungen, offenbar sehr gemildert, ja, ich meine sogar, gehoben sein, wenn es gelänge, auch nur an irgend einer Gliedmafse irgend eines Thieres bei der Zusammenziehung einen aufsteigenden, also während der Ruhe einen absteigenden Strom nachzuweisen. Denn es ist durchaus kein Grund vorhanden, hier lieber den Frosch, als irgend ein anderes Thier, als das Vorbild zu betrachten, dem sich der Erfolg am Menschen anzuschliefsen hat, um in der Ordnung zu erscheinen. Noch mehr zutreffen

Digitized by Google

würde die Schlufsfolgerung sichtlich, wenn jenes Thier zugleich dem Menschen ungleich näher stände als der Frosch, jene Gliedmafse daran ungleich menschenähnlicher gebildet wäre, als am Frosch.

In dieser Unternehmung glaube ich nun vollkommen glücklich gewesen zu sein. Beispiele von absteigenden Strömen an Gliedmafsen im Zustande der Ruhe finden sich bereits aufgeführt in meinem *vorläufigen Abrifs*[1] und oben Bd. I. S. 471. Allein mit diesen Gliedmafsen ist zu unserem jetzigen Zwecke gerade nicht viel anzufangen. Hingegen der Unterschenkel des Kaninchens eignet sich vollkommen zu dieser Untersuchung. Zwar ist oben Bd. I. ebendas. angegeben, dafs man nicht wohl vom Ober- und Unterschenkel des Kaninchens allein, ohne Verletzung von Muskeln, den Strom ableiten könne. Bei näherer Betrachtung der anatomischen Verhältnisse indessen hat sich dies Urtheil für den Unterschenkel als voreilig erwiesen. Nur für den Oberschenkel des Kaninchens bleibt es richtig. Am Kaninchenunterschenkel kann man sehr gut gerade die Zurichtung ausführen, die oben für den menschlichen Unterschenkel als nothwendig bezeichnet wurde, um ihn in derselben Art, wie enthäutete Froschgliedmafsen, auf seinen Strom zu prüfen.

Man bedient sich am besten junger Kaninchen, erstens weil man bei der Zurichtung in mehrfacher Beziehung auf geringere Schwierigkeiten stöfst, zweitens aus einem später einleuchtenden Grunde. Man erschlägt das Thier, reifst die Haut vom Bein ab, führt einen Schnitt durch die Beuger des Unterschenkels, schlägt sie nach unten zurück, trennt ihre aponeurotischen Anheftungen am Unterschenkel mittelst der Scheere, zerschneidet das Kniescheibenband, schlägt die Unterschenkelstrecker aufwärts zurück, schabt die untere Hälfte des Oberschenkelbeines rein von Muskelfleisch, beifst den Knochen etwas oberhalb des Kniegelenkes mit der Zange ab und exarticulirt den Fufs im Fufsgelenk. Dann legt man den Unterschenkel mit gebeugtem Kniegelenk auf eine Glasplatte, die in die wagerechte Klemme des allgemeinen Trägers (S. oben Bd. I. S. 449) gespannt ist, und deren Breite seiner Länge etwas nachsteht. Endlich bringt man an seinem oberen Ende die Condylen des Oberschenkelbeines, an seinem unteren die Gelenkfläche der Tibia in Berührung mit den Zuleitungsbäuschen. Es entsteht ein absteigender Ausschlag, der am Multiplicator für den Muskelstrom 15—30° beträgt. Ebenso wirkt übrigens die frei zugerichtete Muskelmasse des Soleus, der Gastroknemii und des Plantaris, wenn sie ohne alle Verletzung beiderseits mit sehnigen Enden aufgelegt wird. Die

[1] Poggendorff's Annalen u. s. w. 1843. Bd. LVIII. S. 2.

Digitized by Google

Schwäche des Ausschlages rührt her von der parelektronomischen Schicht. Taucht man die Muskeln in Kochsalzlösung und legt sie wieder auf, nachdem man sie mit Wasser abgespühlt und getrocknet hat, so fliegt die Nadel an die Hemmung, die der absteigenden Strömungsrichtung entspricht (S. oben S. 50).

Dieser letzte Versuch reicht wohl hin, um zu zeigen, nicht nur dafs der absteigende Strom wirklich der Muskelstrom ist, sondern auch dafs seine absteigende Richtung nicht etwa auf einer hohen Entwickelungsstufe der parelektronomischen Schicht beruht, in Folge deren wir auch GALVANI'sche Präparate und Gastroknemien vom Frosch haben absteigend wirken sehen (S. oben S. 34). Dies wird sich jetzt, durch die aufsteigende Richtung des Ausschlages beim Tetanus, ohnehin bestätigen müssen, wenn es uns gelingt, den Unterschenkel unter diesen Umständen noch in hinreichend kräftige Zusammenziehung zu versetzen, damit er auf die Nadel wirken könne.

Zuerst suchte ich natürlich den Unterschenkel vom Ischiadicus aus zu tetanisiren, der auf die Platinbleche der stromzuführenden Vorrichtung aufgelegt wurde, gerade wie wir dies beim Frosch zu thun gewohnt sind. Die Zurichtung war dabei die nämliche wie vorhin, nur dafs, wegen der Nothwendigkeit den Ischiadicus zu schonen, der Biceps und die inneren Beuger nicht mehr zugleich, sondern einzeln durchschnitten und gegen den Unterschenkel behufs ihrer Abtrennung zurückgeschlagen werden mufsten. Obschon, nach erlangter gehöriger Uebung in den Handgriffen des Versuches, die Dauer der Zurichtung vom Augenblick der Tödtung an schwerlich jemals zwei Minuten überstieg, gelang es mir doch auf diesem Wege nicht, einen brauchbaren Tetanus hervorzubringen. Nach Einer matten Zuckung erschlafften jedesmal die Muskeln, und auch die stärksten Schläge des Magnetelektromotors blieben vom Nerven aus ohne fernere Wirkung. Vergeblich bestrich ich diesen, sobald er blosgelegt war, mit Olivenöl oder mit Hühnereiweifs von 37° C., um sein Erkalten und Vertrocknen zu verzögern. Ich mufs es daher, nach meinen Erfahrungen, für unmöglich erklären, Muskeln warmblütiger Thiere, gleich denen kaltblütiger, vom Nerven aus zu tetanisiren. Uebrigens zeigten sich sogar bei den spärlichen Zuckungen, die ich dergestalt erhielt, bereits Spuren der negativen Schwankung des absteigenden Stromes im Kaninchenunterschenkel, nämlich kleine Ausschläge in aufsteigender Richtung.

Ich sann nunmehr darauf, wie der Unterschenkel auf andere Art, als vom Nerven aus, wohl zu tetanisiren sein würde. Zuerst versuchte ich die chemische und die kaustische Erregung der Muskeln unmittelbar. Ich sah jedoch alsbald, dafs dies Verfahren durchaus untauglich

Digitized by Google

ist. Weniger weil die Zuckungen zu schwach und flüchtig ausfallen, als deshalb, weil durch das Aetzmittel oder die Hitze, deren man sich zur Erregung bedient, die Kraft der parelektronomischen Schicht vermindert, ja stellenweise vernichtet wird. Man sieht daher freilich heftige Wirkungen bald in der einen, bald in der anderen Richtung erfolgen, je nachdem man einen unteren oder einen oberen Sehnenspiegel verbrennt oder anätzt (Vergl. oben S. 106. 123). Diese Wirkungen sind aber beständiger Art, sie überdauern die Zusammenziehung und haben folglich nichts mit ihr zu schaffen, wenn sie auch anfangs einen von ihr herrührenden Antheil in sich bergen mögen.

In dieser Verlegenheit entschloſs ich mich endlich, ein Verfahren in's Werk zu setzen, dessen Anwendung beim ersten Blick fast unmöglich erscheint, das sich jedoch in der Ausführung vortrefflich bewährt hat, wie es denn bei näherer Ueberlegung sich auch theoretisch als völlig tadelfrei darstellt. Ich meine das elektrische Tetanisiren der im Multiplicatorkreise befindlichen Muskeln mittelst unmittelbar auf sie gerichteter Schläge.

Was bei dieser Methode zuerst unmöglich scheint, ist, daſs dabei nicht sollten Störungen auftreten durch das unvermeidliche Hereinbrechen eines Theiles des erregenden Strömungsvorganges in den Multiplicatorkreis. Allein es versteht sich, daſs wir uns hier zum Tetanisiren so wenig als überhaupt bisher gleich gerichteter Ströme bedienen werden. Wir werden, wie immer, abwechselnd gerichtete Schläge in Anwendung bringen, z. B. die des Magnetelektromotors. Dergleichen Schläge können aber, wenn sie in den Multiplicatorkreis einbrechen, nur einander aufhebende Wirkungen auf die Nadeln ausüben, bis sie stark genug werden, ihren Magnetismus zu verändern. Alsdann können sie, wenn die Nadeln bereits abgelenkt sind, sie noch weiter ablenken. Nie jedoch können sie diejenige Wirkung hervorbringen, die wir zu sehen erwarten, nämlich einen Rückschwung der Nadeln im Augenblick des Tetanus, und nie wird daher die unmittelbare Wirkung der Schläge auf die Nadeln, wenn wirklich eine stattfinden sollte, verwechselt werden können mit der Wirkung der negativen Schwankung des Muskelstromes bei der Zusammenziehung (Vergl. oben Abth. I. S. 40 ff. 430. 604). Es ist aber gar nicht ausgemacht, daſs man nicht den stärksten Tetanus der aufliegenden Muskeln hervorbringen könne durch Schläge, die so schwach sind, daſs sie noch keine doppelsinnige Ablenkung erzeugen. Ohnehin hat man stets ein leichtes Mittel in Händen, sich zu versichern, daſs die beobachtete Wirkung in der That vom Tetanus und nicht von den Schlägen selber hergerührt habe. Dazu ist nur nöthig, den Versuch so lange fortzusetzen, bis die Muskeln sich nicht mehr zusammenziehen,

Digitized by Google

was, bei den Muskeln warmblütiger Thiere, nur allzufrüh der Fall ist. Bleibt alsdann beim Tetanisiren die Nadel in Ruhe, oder wird sie in dem entgegengesetzten Sinne abgelenkt von dem, worin sie beim Tetanus abwich, so kann doch wohl diese letztere Wirkung auch in der That nur vom Tetanus abhängig gewesen sein.

Versuchen wir nunmehr unser Glück. Um die Schläge des Magnetelektromotors dem Unterschenkel zuzuführen, wurde dieser auf Kork gelegt, und in den Kork wurden zu beiden Seiten des Unterschenkels und mit ihm in Berührung zwei kupferne, versilberte Nadeln so eingestofsen, dafs sie von der Länge der Gliedmafse etwa das mittlere Drittel zwischen sich fafsten. Die Nadeln hatten an ihrem oberen Ende Klemmschrauben, und standen in Verbindung mit den Enden der inducirten Rolle des oben Abth. I. S. 393 Anm. beschriebenen Magnetelektromotors. Um die Richtung der Schliefsungs- und Oeffnungsschläge zwischen den Nadeln mit Leichtigkeit umkehren zu können, war der Pohl'sche Stromwender in den Kreis der Nadeln und der inducirten Rolle eingeschaltet. Die Feder des Magnetelektromotors spielte fortwährend. Es war aber zwischen den Gefäfsen A und B, oder α und β des Stromwenders (S. oben Bd. I. S. 426. Bd. II. Taf. III. Fig. 108) ein kurzer Schliefsungsdraht angebracht, so dafs die Schläge erst dann mit merklicher Kraft den Muskel trafen, wenn dieser Draht entfernt worden war. Diese Art, mit Inductionsströmen zu tetanisiren, ist die beste, weil dabei dem lästigen Umstande vorgebeugt ist, dafs, noch ehe man es beabsichtigt, Zusammenziehungen, unipolare Zuckungen nämlich eintreten (S. oben Bd. I. S. 429).

Zuerst mufste natürlich die Stärke der inducirten Schläge ermittelt werden, welche ohne Gefahr für die Astasie des Nadelpaares angewendet werden konnten, wobei freilich die Astasie für dies eine Mal verloren gegeben wurde. Nach Herstellung der Astasie, und bei Beobachtung der nunmehr erkannten, nicht zu überschreitenden Grenze der Stromstärke, gelang aber der Versuch tadellos. Sobald die Nebenschliefsung entfernt wurde, entstand lebhafter Tetanus der Unterschenkelmuskeln. Der Unterschenkel mufs jedoch nicht zu grofs sein, indem es sonst geschehen kann, dafs nicht alle Muskeln gleichmäfsig vom Tetanus ergriffen werden. Dies ist der oben S. 340 angedeutete fernere Grund, weshalb man hier besser thut, sich kleiner, als grofser Kaninchen zu bedienen.

Sobald der Tetanus anfing, erfolgte eine negative Wirkung auf die Nadel, ein aufsteigender Ausschlag nämlich von etwa 10 — 15° am Multiplicator für den Muskelstrom. Die Richtung des Ausschlages war unabhängig von der der Schliefsungs- und Oeffnungsströme zwischen den

Digitized by Google

stromzuführenden Nädeln. Der Ausschlag konnte übrigens nur zwei, höchstens dreimal an demselben Unterschenkel beobachtet werden. Denn nicht öfter, gelang es, auch auf diesem Wege, hinlänglich kräftigen Tetanus zu erregen. Nachdem die Leistungsfähigkeit der Muskeln erschöpft war, blieb beim Tetanisiren entweder gar keine Wirkung der Schläge zurück, oder eine Wirkung von etwa nur 1°, die ihre Richtung mit dem Umlegen der Wippe des Stromwenders änderte. Die Richtung zeigte an, dafs es die Oeffnungsschläge waren, welche die Nadel ablenkten. Dies erscheint in der Ordnung, wenn man erwägt, dafs die stärkeren und kürzeren Oeffnungsschläge weniger durch die Polarisation an den versilberten Kupfernadeln geschwächt werden müssen, als die schwächeren und langsameren Oeffnungsschläge (S. oben Abth. I. S. 405. 436).

Denselben Versuch habe ich mit demselben Erfolge beiläufig noch mit künstlichem Querschnitt angestellt, um dem Einwand zu begegnen, den zu vernehmen mich nicht sehr gewundert haben würde, dafs ja bei warmblütigen Thieren der Muskelstrom bei der Zusammenziehung, statt einer negativen, vielleicht eine positive Schwankung erleide. Die Zurichtung war folgende. Das Kaninchen wurde erschlagen, die Haut vom Unterschenkel abgerissen, die Achillessehne durchschnitten, der Soleus, Plantaris und die Gastroknemien nach aufwärts aus ihren Binden gelöst und in der Gegend ihrer stärksten gemeinsamen Anschwellung durchschnitten. Es wurde einerseits die Achillessehne, andererseits der künstliche Querschnitt an die mit Eiweifshäutchen bekleideten Bäusche gelegt. Die stromzuführenden Nadeln wurden diesmal nicht der Länge, sondern der Quere nach an dem Muskelstück angebracht, so dafs sie das Stück seitlich zusammendrückten. Dies hatte zum Zweck, die Berührung zwischen dem künstlichen Querschnitt und dem entsprechenden Bausch bei der Zuckung beständig zu erhalten, indem sich nämlich zeigte, dafs eine Verschiebung des Querschnittes hinreichte, um eine Veränderung der beständigen Ablenkung zu erzeugen. Stets fand, im Augenblick des Tetanus, eine lebhafte negative Schwankung des Stromes statt, die gänzlich aufhörte, nachdem die Leistungsfähigkeit der Muskeln erschöpft war.

Endlich habe ich zum Ueberfluss auch noch versucht, die aufsteigende elektromotorische Wirkung beim Tetanisiren des Unterschenkels des Kaninchens am lebenden unversehrten Thiere nachzuweisen.

Ich habe ein Brett von 20^{cm} Breite, 2^{cm} Dicke und von veränderlicher Länge. Es besteht nämlich aus zwei 20^{cm} langen Stücken, die nach Art der beiden Hälften eines Ausziehtisches einander genähert oder von einander entfernt werden können. Durch eingelegte Stücke, deren Breite immer um 1^{cm} wächst, wird, gleichfalls wie bei einem

Digitized by Google

Ausziehtisch, die Ebene des Brettes wieder ergänzt. Auf dies Brett wird das Kaninchen mit dem Bauch gelegt, und dem Brett eine solche Länge ertheilt, dafs es, bei völliger Streckung des Kaninchens, von dem Fufsgelenk bis zum Handgelenk reicht. Die Füfse und die Hände des Kaninchens werden gegen den abgerundeten Rand des Brettes umgebogen und daselbst festgebunden. Ueber die Unterschenkel und die Unterarme gehen gleichfalls Bänder, und durch zwei Rollbinden werden das Becken und der Brustkasten wider das Brett gedrückt. So erreiche ich eine so völlige Unbeweglichkeit des Kaninchens, wenn auch nicht bei heftigen unregelmäfsigen Bewegungen, wie sie das willkürliche Sträuben, doch bei der symmetrischen Anstrengung aller Gliedmafsen, wie sie der Starrkrampf mit sich bringt, dafs der stärkste Tetanus in nichts Anderem mehr sichtbar wird, als in dem bekannten, hier ganz gleichgültigen Zurückschlagen des Kopfes.

Das Brett wird mit seiner unteren Fläche in der Höhe des Randes der Zuleitungsgefäfse wagerecht aufgestellt, sein Fufsende nach den Gefäfsen zugekehrt. Die Füfse des Kaninchens ragen über den Rand des Brettes hinreichend weit nach unten vor, um in die Zuleitungsgefäfse getaucht werden zu können. So befindet sich das Kaninchen also in derselben Lage als der Frosch in den Versuchen oben S. 185 und der menschliche Körper in den Versuchen S. 284.

Stets entstand, wenn die dichte Behaarung der Zehen von der Lösung durchdrungen war, an dem Multiplicator für den Nervenstrom ein mehr oder minder starker Ausschlag, bald in dem einen, bald in dem anderen Sinne, über dessen Ursache ich nichts Näheres anzugeben weifs, der aber offenbar demjenigen zu vergleichen ist, der auch beim Menschen stets das erste Schliefsen symmetrischer Hautstellen zum Kreise begleitet (S. oben S. 203). Wie dort, stellte sich auch hier die Nadel bald in hinreichender Nähe des Nullpunktes beständig ein, und es handelte sich also nur noch darum, Tetanus des einen Unterschenkels zu bewirken.

Dies ist jedoch unmöglich. Dagegen ist leicht zu machen, dafs während sämmtliche übrige Beinmuskeln zucken, der eine Unterschenkel und Fufs erschlafft bleibe. Sobald alsdann die Zusammenziehung der übrigen Muskeln nur gleichmäfsig geschieht, mufs die elektromotorische Wirkung die nämliche sein, als ob allein der Unterschenkel tetanisirt würde, der an der Zuckung Theil hat. Dieser Versuchsplan ist leicht in's Werk zu setzen. Man braucht dazu nur den N. tibialis und peronaeus in der Kniekehle zu zerschneiden, was ohne alle Blutung und Muskelverletzung gelingt, und dann das Thier mit Strychnin zu vergiften.

In meinen Versuchen wurde nach der Durchschneidung ein wenig Baumwolle, mit einer gesättigten Lösung von salpetersaurem Strychnin

Digitized by Google

getränkt, in die Wunde gethan, die Hautwunde zugenäht, das Kaninchen auf die Zuleitungsgefäfse gelegt und der Tetanus abgewartet.

Schon bei den einzelnen Stöfsen, die dem Ausbruch des Tetanus vorherzugehen pflegen, zeigten sich leichte Ausschläge, gerade wie wir dies beim Frosch beobachtet haben (S. oben S. 184). Vollends bei dem grofsen Anfall entstand ein Ausschlag von 15—30°, in Anbetracht der geringen wirksamen Muskelmasse und des grofsen Widerstandes des Kreises gewifs eine sehr ansehnliche Wirkungsgröfse. Der Ausschlag hatte die verlangte Richtung, nämlich im unverletzten Bein einen aufsteigenden Strom anzeigend. Einigemal trat eine Störung auf, die ich nicht zu erklären weifs. Es wurde nämlich der im unverletzten Bein aufsteigende Ausschlag auf dem Fufse gefolgt von einem gröfseren Ausschlage, auch wohl von einer beständigen Ablenkung in der anderen Richtung. Solche Störungen traten aber auch manchmal ein schon allein bei heftigen Bewegungen des Thieres, wo gar kein Tetanus stattfand, der auf die Nadel hätte wirken können. Ich glaube deshalb nicht, dafs auf diese Störungen das geringste zu geben sei.

Ich hätte gern einen solchen Versuch auch für das ganze Bein des Kaninchens angestellt. Allein die gemeinsame Durchschneidung der NN. ischiadicus, obturatorius und cruralis ist mir als ein so gewaltiger Eingriff erschienen, dafs ich davon abgestanden bin. Ich suchte daher den ausschliefslichen Tetanus des einen Beines folgendermafsen auf elektrischem Wege zu bewirken. Zwei Stopfnadeln wurden mit Ausnahme des Oehrs und der Spitze mit Lack überzogen. Das Oehr beider wurde mit Klemmschrauben versehen und die Nadeln dadurch mit den Enden der inducirten Rolle des Magnetelektromotors verknüpft. Das Kaninchen wurde wie vorher befestigt und seine Hinterbacken wurden geschoren. Hierauf stiefs ich die beiden Nadeln, in etwa 1^{cm} Abstand von einander, in die eine Hinterbacke. Die Verbindungslinie der Nadeln lief der Wirbelsäule parallel, und hälftete den Zwischenraum zwischen Kreuzbein und absteigendem Aste des Sitzbeins. Ihre Mitte lag dem Sitzbeinstachel etwa gegenüber. Die Nadeln wurden so tief eingestochen, dafs ich annehmen konnte, dafs ihre Spitzen sich in der Höhe des Plexus sacralis befänden.

Durch das Lackiren der Nadeln hatte ich beabsichtigt, nicht allein den Strömungsvorgang zwischen den Nadeln mehr auf die Gegend der Nervenstämme hinzurichten, sondern auch dem Thiere den Versuch erträglicher zu machen, indem ich ihm die Schmerzen ersparte, die das unmittelbare Einbrechen des Stromes in voller Stärke in die Hautwunde hervorgebracht haben würde. Ich hatte ferner gehofft, dafs bei hinlänglich schwachen Strömen der Tetanus auf das Bein der Seite, wo

Digitized by Google

sich die Nadeln befanden, eingeschränkt bleiben würde. Nichtsdestoweniger schrie das Kaninchen beim Tetanisiren mehrmals laut auf, und zwar gleichviel, ob die Oeffnungs- oder die Schliefsungsströme die aufsteigenden waren. Vom Marianini'schen Gesetz also gab sich bei dieser Gelegenheit nichts zu erkennen (Vergl. oben Bd. I. S. 361). Gleichzeitig entstand ein Ausschlag am Multiplicator für den Nervenstrom, der einen auf der Seite der Nadeln absteigenden Strom anzeigte. Als ich nun aber die Nadeln in derselben Art auf der anderen Seite anbrachte, hatte der Ausschlag beim Tetanisiren noch dieselbe Richtung, und als ich endlich zu jeder Seite des Kreuzbeins, zwischen ihm und dem Sitzbeinstachel, eine der beiden Nadeln anbrachte, war die Richtung des Ausschlages auch noch stets die nämliche. Von der Richtung der Schliefsungs- und Oeffnungsschläge war die Richtung des Ausschlages unabhängig. Auch blieb die Nadel so gut wie völlig in Ruhe, als ich nach Tödtung und Erstarrung des Kaninchens die Versuche mit viel stärkeren Strömen wiederholte.

Es ist also klar, dafs der stets gleichgerichtete Ausschlag beim Tetanisiren nichts Anderes war, als der Ausdruck eines zufälligerweise vorhandenen Unterschiedes in der elektromotorischen Wirkung der beiden Beine, welche selbst dann gleichmäfsig in Tetanus geriethen, wenn die Nadeln sich auf derselben Seite des Kreuzbeins befanden. Die Stromesschleifen, welche bis zur anderen Seite hinreichten, waren noch stark genug, um auch in den hier gelegenen Nervenstämmen den Gipfel anhaltender Erregung hervorzubringen. Man sollte jedoch meinen, dafs man, durch passende Abschwächung der Ströme, zuletzt bei einem Punkt anlangen müfste, wo dies nicht mehr der Fall wäre, sondern der Tetanus auf das Bein der Seite, wo sich die Nadeln befänden, wirklich eingeschränkt bliebe.

Ich habe indessen diesen Versuch auf sich beruhen lassen, da die obigen für das, was wir hier beabsichtigen, bereits völlig ausreichen, und ich aufserdem so viel gesehen hatte, als dafs ein anderer Zweck, den ich mit dem letzten Versuch verband, doch nicht zu erreichen sein würde. Ich wünschte nämlich dabei zugleich ein Mittel zu erhalten, um die Nachwirkung des Tetanus an einem warmblütigen Thiere zu erforschen. Um diese Nachwirkung zu beobachten, mufs man über einen Kreis gebieten, in dem aufser dem Strom einer ruhenden Muskelmasse und einem anderen Strom, der diesem die Wage hält, kein, oder nur ein so schwacher Strom vorhanden ist, dafs dieser letztere nebst dem Unterschied der beiden einander entgegenwirkenden Ströme, gegen den Strom durch die Nachwirkung nicht in Betracht kommt. Wenn man dann bei offenem Kreise tetanisirt und unmittelbar nach Aufhören

Digitized by Google

des Tetanus den Kreis schliefst, kann man den Strom durch die Nachwirkung rein beobachten (S. oben S. 153. 292). Ich habe aber in den Versuchen am Kaninchen die Bedingung der Abwesenheit anderer Ströme im Kreise nie so vollkommen erfüllt gesehen, dafs es sich gelohnt hätte, einen Versuch zur Beobachtung der Nachwirkung anzustellen.

Kehren wir zum eigentlichen Gegenstande dieser Untersuchung zurück. Wir haben gefunden, dafs der ruhende Strom des Unterschenkels des Kaninchens, statt aufsteigend wie am Frosch, vielmehr absteigend ist, dafs folglich beim Tetanus die negative Schwankung dieses Stromes, statt einer absteigenden Wirkung, wie am Frosch, vielmehr eine aufsteigende hervorbringt. Dies Ergebnifs ist geeignet, die Zweifel Derjenigen zu heben, welche, mit Cima und Matteucci, einen Widerspruch darin sehen, dafs die elektromotorische Wirkung beim Tetanus in den Beinen des Frosches eine absteigende, in den Armen des Menschen eine aufsteigende ist. Es zeigt, meinen theoretischen Auseinandersetzungen gemäfs, dafs die Richtung der elektromotorischen Wirkung beim Tetanus erst dann von Bedeutung wird, wenn die Wirkungsrichtung der ruhenden Muskeln bereits feststeht. Es beweist abermals, was ich schon so oft einsichtlich zu machen versucht habe, dafs die Wirkungsrichtung und -Gröfse der Gliedmafsen bei ruhenden Muskeln an sich etwas ganz Unwesentliches, Gleichgültiges ist, und, wie die Wirkungsrichtung und -Gröfse einzelner Muskeln zwischen ihren sehnigen Enden von einem Muskel zum anderen, in derselben Thierart von einer Gliedmafse zur anderen, in derselben Gliedmafse von einer Thierart zur anderen schwanken kann.

Es ist aber, wenn ich nicht irre, durch die obigen Versuche noch etwas mehr geschehen. Wir haben gefunden, dafs auch am menschlichen Unterschenkel die elektromotorische Wirkung bei der Zusammenziehung aufsteigend ist. Auch Denjenigen also, die, wie der Berichterstatter der Pariser Commission, zwar zugeben, dafs der ruhende Strom der menschlichen Arme sehr wohl absteigend sein könne, aber noch den Beweis verlangen, dafs er wirklich absteigend sei, auch Diesen dürfte jetzt, wenn sie billig sein wollen, Genüge geleistet sein. Denn der Versuch am Arm hat vor dem Versuch am Unterschenkel nichts voraus. Lassen wir also den Arm bei Seite und halten uns lediglich an den Unterschenkel. Es ist keine Frage, dafs der Unterschenkel des Kaninchens ungleich menschenähnlicher gebildet ist als der des Frosches, zwar, wegen des tiefen Ansatzes der Beuger des Kniegelenkes, nicht in seinen äufseren Umrissen am unversehrten Thier, doch hinsichtlich der Anordnung seiner Muskeln. Von diesem menschenähnlich gebildeten Unterschenkel steht nun fest, dafs auch er bei der Zusammenziehung nicht

Digitized by Google

absteigend wirkt, wie der des Frosches, sondern aufsteigend wie der des Menschen. Und ein aufmerksamerer Blick auf die Verschiedenheit im Bau des Menschen- und Kaninchenunterschenkels einerseits und des Froschunterschenkels andererseits weist auch bald einen Umstand auf, der die Verschiedenheit in der elektromotorischen Wirkung auf beiden Seiten, wenn auch nicht als nothwendig erkennen läfst, doch wenigstens begreiflich macht.

Der sogenannte Gastroknemius des Frosches besitzt nämlich an seinem oberen Ende keinen freien natürlichen Querschnitt (Vergl. oben Bd. I. S. 512. 513. Bd. II. Abth. II. S. 106). In der folgenden Beschreibung des Baues dieses Muskels ist der Frosch auf seinen Füfsen stehend wie ein Mensch gedacht. Das Kopfende des Muskels heifst daher das obere, das Fufsende das untere, die Tibialfläche wird als vordere, die Rückenfläche als hintere bezeichnet. Aufsen und Innen bezieht sich auf die den Muskel symmetrisch hälftende Ebene.

Eine sehnige Scheidewand, welche senkrecht auf der Ausbreitung der Achillessehne steht, hälftet den Muskel nahe symmetrisch. Sie ist die in's Innere des Muskels eindringende Fortsetzung seiner beiden Kopfsehnen, der kurzen oberen hinteren und inneren, deren oberer Zipfel sich an das Ober-, der untere an das Unterschenkelbein heftet, und der längeren unteren äufseren und vorderen, die zwar einige ihrer äufseren Fasern an das Oberschenkelbein schickt, grofsentheils jedoch verschmilzt mit dem äufseren Rand der Aponeurose des Triceps Cuv., so dafs dieser Muskel auch noch das Fufsgelenk strecken kann. Man sieht diese letztere Sehne gut in *e* Fig. 141. Taf. V dieses Bandes. Ihr oberes Ende ist, behufs der Präparation des N. peronäus (S. oben Abth. I. S. 546), von der Aponeurose des Triceps getrennt worden, aber die Stelle, wo es davon abgelöst wurde, ist noch deutlich erkennbar.

Die sehnige Scheidewand des Gastroknemius hat einen vorderen geraden und einen hinteren gewölbten Rand. Letzterer tritt an der Rückenfläche des Muskels nirgends zu Tage. Ersterer dagegen wird ungefähr in den oberen sechs Siebenteln der Längsmittellinie der abgeplatteten Tibialfläche sichtbar. Die Muskelbündel des Gastroknemius sind nämlich sehr viel kürzer als der ganze Muskel, und nehmen folgenden Verlauf.

Diejenigen dieser Bündel, welche von der Längsmittellinie der Ausbreitung der Achillessehne, oder ihrer Durchschnittslinie mit der fortgesetzt gedachten Ebene der sehnigen Scheidewand entspringen, laufen schräg nach oben und vorn, und heften sich an den gewölbten hinteren Rand der Scheidewand. Das oberste dieser Bündel liegt in der Längsmittellinie des oberen fleischigen Theils der Rückenfläche. Das

Digitized by Google

unterste bildet das unterste Siebentel der Längsmittellinie der Tibialfläche, deren sechs obere Siebentel eingenommen sind durch den vorderen geraden Rand der sehnigen Scheidewand.

Die Bündel, welche von den beiden Hälften der Ausbreitung zur Seite der Längsmittellinie entspringen, laufen schräg nach oben, vorn und innen, und heften sich an die entsprechenden Seitenflächen der Scheidewand. Dabei treffen unstreitig solche Bündel mit ihren oberen Enden nahe aufeinander, deren untere Enden von symmetrischen Punkten der Ausbreitung kommen.

Endlich die Bündel, welche von dem Umfange selbst der Ausbreitung entspringen, heften sich an den vorderen geraden Rand der sehnigen Scheidewand. Sie bilden den fleischigen Theil der Oberfläche des Muskels. In der Tibialfläche verlaufen sie rein nach oben und innen, daher der vordere Rand der Scheidewand mit den von beiden Seiten unter gleichen Winkeln schräg daran stofsenden Bündeln das Bild eines mit dem Kiel nach oben gehaltenen Federschaftes mit seinen Strahlen gewährt. Es gehört danach der Gastroknemius des Frosches zu den gefiederten Muskeln.

Nur eine kleine Abweichung von dem hier geschilderten symmetrisch regelmäfsigen Bau wird bemerkbar an der Stelle, wo sich die längere der beiden Kopfsehnen, die untere vordere und äufsere, in die Scheidewand fortsetzt. Diese Sehne kommt zwischen den beiden Hälften des Muskels, unter und vor der anderen Kopfsehne, hervor wie ein Bücherzeichen aus einem Buche. Sogleich aber schlägt sie sich, der Oberfläche des Muskels entlang, nach oben und aufsen, und löst sich von der Oberfläche, um frei nach oben zu gehen, erst wenn sie den äufseren Umfang des Muskels erreicht hat. Die mit der Oberfläche des Muskels verwachsene Strecke der Sehne nun dient einigen Bündeln zum Ansatz, deren obere Enden also nicht an die mittlere Scheidewand gehen, und dies ist der einzige Punkt am oberen Ende des Gastroknemius, wo man von einem freien natürlichen Querschnitt desselben sprechen kann.

Benetzt man diese Stelle mit einer entwickelnden Flüssigkeit, so erhält man stets einen kleinen absteigenden Ausschlag. Er rührt ganz gewifs nicht allein von der negativen Schwankung her, die die Folge ist der Zuckungen, welche das Anätzen häufig begleiten. So ist also, obschon unvollkommen, auch am Gastroknemius des Frosches der oben S. 106. 123 beschriebene Versuch anstellbar.

Ueberall anderwärts am oberen Ende des Muskels ist es so gut als ob gar kein natürlicher Querschnitt vorhanden wäre. Die sehnige Scheidewand des Gastroknemius gelingt es nämlich nicht selten bei der

Digitized by Google

oben Abth. I. S. 97 beschriebenen Darstellungsweise des künstlichen Längsschnittes in zwei Blätter zu spalten. Jedes dieser Blätter enthält alsdann den oberen natürlichen Querschnitt der einen Seitenhälfte des Muskels, deren unterer natürlicher Querschnitt zu suchen ist in der entsprechenden Hälfte der Ausbreitung der Achillessehne. Es ist also als ob ursprünglich ein oberer vorderer Querschnitt des Muskels dagewesen wäre, entsprechend dem unteren hinteren Querschnitt, der mit der Ausbreitung der Achillessehne bekleidet ist, und als ob dieser obere vordere Querschnitt in der Längsmittellinie nach hinten eingeknickt, seine beiden symmetrischen Hälften, wie die eines Buches, welches man zuschlägt, nach vorn zusammengeklappt, und mit einander verklebt worden wären.

Dadurch ist aber die Negativität des oberen Querschnittes ganz aufser Spiel gebracht. In elektrischer Beziehung würde nichts am Gastroknemius geändert werden, wenn die Scheidewand daraus entfernt würde, und je zwei Bündel, deren obere Enden jetzt an entsprechenden Punkten ihrer beiden Seitenflächen aufsitzen, mit einander verwüchsen zu einem Bogen oder einer Schlinge, deren beide Schenkel sich nach wie vor an symmetrische Punkte der Ausbreitung der Achillessehne hefteten.

Der Gastroknemius besitzt somit nur Eine negative Flächenbegrenzung, die Ausbreitung der Achillessehne über dem unteren natürlichen Querschnitt. Seine ganze übrige Begrenzung ist neutral, oder in Bezug auf den natürlichen Querschnitt positiv (S. oben S. 116).[1] Dasselbe gilt beiläufig vom inneren Kopf des Triceps Cuv., der einen dem des Gastroknemius sehr ähnlichen Bau besitzt (S. oben Bd. I. S. 492. 496). Dies ist der Grund, weshalb diese Muskeln, im unversehrten Zustande und bei mäfsiger Entwickelung der parelektronomischen Schicht, nur aufsteigend, bei hoher Entwickelung der Schicht, nur absteigend wirken können (Vergl. oben S. 35). Um sie bei mäfsiger Entwickelung der Schicht absteigend wirken zu sehen, mufs am oberen Ende des Muskels ein künstlicher Querschnitt angelegt werden.

Sehr verschieden von dem Gastroknemius des Frosches ist nun die entsprechende Muskelgruppe an der Wade des Kaninchens und des Menschen gebildet. Hier besitzen nämlich die beiden Gastroknemii, der externus und der internus, an ihrem oberen Ende jeder einen freien

[1] Die in der Fig. 33. Taf. IV. Bd. I. gegebene Abbildung eines künstlichen Längsschnittes vom Gastroknemius giebt insofern kein gutes Bild von dem Bau des Muskels, als der Längsschnitt darin nicht zusammenfällt mit der sehnigen Scheidewand, sondern sie unter einem spitzen Winkel schneidet. Der Bau des Gastroknemius war mir damals noch nicht so klar geworden wie jetzt.

Digitized by Google

natürlichen Querschnitt. Daraus folgt nun freilich nicht mit Nothwendigkeit, dafs der Unterschenkel absteigend wirken müsse. Denn es könnten ja die unteren Querschnitte der Muskeln die Oberhand haben über die oberen. Allein es ist, wie oben S. 349 bevorwortet wurde, doch wenigstens einsichtlich gemacht, wie, im Gegensatze zum Unterschenkel des Frosches, der des Kaninchens, folglich auch der des Menschen, absteigend wirken könne.

(x) Der Strom beim willkürlichen Tetanus ist nicht thermoëlektrischen Ursprungs.

Dem Einwurfe, dafs der Strom beim willkürlichen Tetanus ein thermoëlektrischer sei, erzeugt durch die bei der Muskelzusammenziehung entwickelte Wärme, fehlte es im Munde seiner Urheber[1] eigentlich an jeder thatsächlichen Grundlage. Denn vor meinen oben S. 207 ff. beschriebenen Versuchen war aufser der verschollenen Beobachtung Nobili's an der Thon-Thermokette, deren Analogie doch eine sehr entfernte ist, von Thermoströmen feuchter Leiter nichts bekannt. Aufserdem war es im höchsten Grade unwahrscheinlich, dafs in einem Kreise von so bedeutendem Widerstande irgend ein Thermostrom sichtbar gemacht werden könne. Jetzt steht die Sache anders. Wir wissen, dafs zwei ungleich warme sonst gleichartige Hautstellen einen Strom erzeugen, der die Nadel des Multiplicators für den Nervenstrom unter Umständen an die Hemmung führt. Dadurch wird das Bedenken, von dem hier die Rede ist, erst zu einem solchen, welches ernstliche Berücksichtigung verdient.

Und beim ersten Blick scheint es beinahe, als ob man auf diesem Wege den Strom beim willkürlichen Tetanus wirklich erklären könnte, ohne ihn abhängig zu machen von der negativen Schwankung des Muskelstromes der menschlichen Gliedmafsen. Der Natur der Dinge nach werden die Versuche darüber angestellt bei einer Temperatur der Zuleitungsflüssigkeit zwischen 0° und 30° C. Innerhalb dieser Grenzen verhält sich die wärmere Hautstelle negativ gegen die kältere, und zwar, bei gleichem Temperaturunterschied, um so mehr, je näher dem Nullpunkt. Der angespannte Arm, um uns an die gangbarste Form des Versuches zu halten, wird, im Verhältnifs zum erschlafften, erwärmt. Es mufs sich folglich der Finger des angespannten Armes innerhalb der angegebenen Temperaturgrenze negativ verhalten gegen den Finger des in Ruhe gebliebenen. So verhält er sich aber in der That. Stellt man

[1] Gedruckt worden ist dieser Einwand meines Wissens nur von Despretz und von Hunt an den oben S. 311. 313 Anm. angegebenen Stellen.

Digitized by Google

den Versuch mit Zuleitungsflüssigkeit von 0° an, so wird zwar der Strom nicht stärker, wie es nach dem Obigen der Fall sein sollte, sondern schwächer. Dies läfst sich aber aus dem bei niederer Temperatur gröfseren Widerstande der Oberhaut erklären (S. oben S. 212). Die Nachwirkung des Tetanus erklärt sich natürlich bei dieser Deutungsweise der Erscheinung gerade so gut wie bei der anderen.

Bei näherer Erwägung indessen stellt sich dieser erste Anschein bald als ganz trüglich heraus. Erstens halte ich es für sehr unwahrscheinlich, dafs bereits nach wenigen Secunden das Anspannen der Armmuskeln eine irgend merkliche Temperaturerhöhung der Haut der Finger, das der Oberschenkelmuskeln bei der oben S. 290 beschriebenen Gestalt des Versuches eine solche der Haut des Fufses zur Folge habe. Versuche darüber anzustellen, habe ich nicht für nöthig gehalten. Denn zugegeben, es finde beim Anspannen, was jedenfalls ganz unmöglich ist, eine Temperaturerhöhung der eingetauchten Hautstelle um mehrere Grade C. wirklich statt, so würde der dadurch bedingte Temperaturunterschied doch ganz unvermögend sein, am Multiplicator für den Nervenstrom einen Ausschlag von der Gröfse zu erzeugen, wie wir ihn beim Anspannen beobachtet haben. Dieser Ausschlag beläuft sich auf 40° und darüber. Dagegen beim gleichzeitigen Eintauchen eines Fingers bei 15 und eines Fingers bei 30° C. in die Zuleitungsgefäfse erhält man höchstens 20—30° Ausschlag (S. oben S. 208. 227), obschon der Widerstand der Oberhaut an letzterem Finger bereits sehr vermindert ist (S. oben S. 212). Ein Temperaturunterschied der Finger von 5° C. z. B. aber bleibt bereits so gut wie wirkungslos. Es ist also schon hienach nicht daran zu denken, den Strom beim willkürlichen Tetanus von der Temperaturerhöhung der angespannten Gliedmafse abzuleiten.

Bei der Gestalt des Versuches ferner, bei der der Strom des Unterarmes von Elbogen und Finger abgeleitet wird (S. oben S. 291), müfste der Finger mehr erwärmt werden als der Elbogen, denn der Strom ist aufsteigend im Unterarm, d. h. der Finger erscheint in Folge des Tetanus negativer gegen den Elbogen. Dies scheint undenkbar, um so mehr als, wie man sich erinnert, bei dieser Versuchsweise auch die Oberarmmuskeln angespannt werden. Wenn also überhaupt eine merkliche Erwärmung der Oberhaut des Armes stattfindet, so wird die Haut des Elbogens daran sicherlich ebensoviel und leicht noch mehr Antheil haben als die viel entlegenere der Finger.

Vollends entscheidend aber ist nachstehende Betrachtung. Man entsinnt sich der merkwürdigen Thatsache, dafs, während zwischen 0° und darunter, und etwa 30° C. sich der wärmere Finger negativ verhält gegen den kälteren, sich umgekehrt, zwischen etwa 30°, und 45° und

Digitized by Google

darüber, der wärmere Finger positiv verhält gegen den kälteren (S. oben S. 208). Wäre der Strom bei der Zusammenziehung durch die Temperaturerhöhung der angespannten Gliedmafse bedingt, so müfste also offenbar dieser Strom seine Richtung umkehren, wenn man ihn in Zuleitungsflüssigkeit von einer Temperatur über 30° anstellt. Dies ist aber, wie wir schon wissen, nicht der Fall. Vielmehr behält der Strom seine Richtung bei, und erscheint sogar beträchtlich verstärkt wegen des durch die Wärme verminderten Widerstandes der Oberhaut (S. oben S. 303).

Damit ist, wie es scheint, die Sache abgethan. Doch werden sich später zu diesen sogar noch andere Gründe gesellen. Da aber jetzt durch Helmholtz auch in Muskeln kaltblütiger Thiere, die dem Kreislauf entzogen sind, eine Temperaturerhöhung beim Tetanus nachgewiesen ist,[1] so könnte die Gegenpartei sich vielleicht noch folgendermafsen vernehmen lassen. Die Unmöglichkeit, den Strom beim willkürlichen Tetanus von einer Temperaturerhöhung der eingetauchten Hautstelle abzuleiten, müsse nach dem Obigen zwar zugegeben werden. Aber könnte nicht der Strom, wenngleich im Inneren der Gliedmafsen erzeugt, doch nur durch die Temperaturerhöhung der Muskeln bedingt sein? Ist nicht vielleicht die ganze Erscheinung der negativen Schwankung des Muskelstromes bei der Zusammenziehung einfach thermoëlektrischer Natur?

Diese Ansicht, die ich wirklich habe äufsern hören, ist jedoch nicht minder unhaltbar als die so eben von der Hand gewiesene. Zugegeben, obschon dies gewifs nicht richtig ist, die von Helmholtz beobachtete Temperaturerhöhung der Muskeln um etwa ein bis zwei Zehntel Grade C. sei im Stande, einen so starken elektromotorischen Unterschied zu erzeugen, wie er der negativen Schwankung zu Grunde liegt. Wie sollte es kommen, dafs nicht Längs- und Querschnitt des Muskels in gleichem Mafse erwärmt würden? Wie sollte vielmehr stets die Vertheilung der thermoëlektrischen Spannungen am Muskel gerade dieselbe sein, nur mit entgegengesetztem Zeichen, wie die der Spannungen, welche den ruhenden Muskelstrom erzeugen?

Schon dies würde genügen. Aber keine geringere Schwierigkeit entspringt für die thermoëlektrische Theorie der negativen Schwankung aus der Untersuchung des zuckenden Muskels mittelst des stromprüfenden Froschschenkels. Diese Untersuchung lehrt bekanntlich, dafs die elektromotorische Wirkung der Zusammenziehung keine allmälig wiederum abnehmende ist, sondern dafs sie ebenso schnell verschwindet, wie sie eintritt, dafs das Ganze einen blitzschnellen Stromstofs, einem voltaëlektrischen Inductionsschlage vergleichbar, vorstellt. Nur so wird

[1] Müller's Archiv für Anatomie und Physiologie. Jahrgang 1848. S. 144.

Digitized by Google

es verständlich, dafs es für das Erscheinen und die Stärke der secundären Zuckung gleichgültig ist, ob der ruhende Muskelstrom im Nerven des stromprüfenden Schenkels auf- oder absteigt. Die elektromotorische Wirkung des Tetanus aber ist eine dichtgedrängte Reihe solcher schnellen Stöfse (S. oben Abth. I. S. 99 ff.). Es müfste also die in jeder einzelnen Zusammenziehung blitzschnell freigewordene Wärme ebenso schnell wieder gebunden werden, und nach Beendigung des Tetanus dürfte keine merkliche Menge freier Wärme zurückbleiben. Wollte man aber auch jenes schnelle Wiederumgebundenwerden der freigewordenen Wärme als Hypothese zugeben, man dürfte es nicht. Denn nach Helmholtz geht die Nadel des Thermomultiplicators sehr langsam wieder auf den Nullpunkt zurück, wenn man mit der Reizung aufhört, oder wenn die Reizbarkeit der Muskeln erlischt.[1]

Endlich ist noch zu erwähnen, dafs auch der Nervenstrom seine negative Schwankung hat, von nicht geringerer Gröfse im Verhältnifs zu seiner Stärke als die des Muskelstromes und von derselben Beschaffenheit in Bezug auf die Vertheilung der Spannungen, während Helmholtz zum Schlusse gelangt ist, dafs, wenn eine Wärmeentwickelung die Innervation begleite, sie gegen die in den Muskeln verschwindend klein sei, und jedenfalls nicht über wenige Tausendtheile eines Grades hinausgehe.[2]

Will man der Wärmeentwickelung in den Muskeln einen Einfluſs auf die elektrischen Erscheinungen zugestehen, so glaube ich daher, thut man besser, diesen Einfluſs vorläufig in der leichten Verminderung des eigenthümlichen Widerstandes der Muskeln zu suchen, welche wir oben Abth. I. S. 81 im Gefolge der Zusammenziehung entdeckt haben.

(xi) Beweis, dafs der Strom beim willkürlichen Tetanus nicht auf Veränderung der elektromotorischen Kräfte der Haut beruhe.

Von den drei oben S. 336 aufgezählten Einwürfen gegen die in dieser Nummer mitgetheilten Versuche bleibt uns jetzt noch der letzte zu erwägen. Es wird gefragt, ob nicht der Strom beim willkürlichen Tetanus, statt der Ausdruck zu sein der negativen Schwankung des Muskelstromes der Gliedmafsen, herrühren könne von einer irgendwie vermittelten Veränderung der elektromotorischen Kräfte an der Grenze der Haut und der Zuleitungsflüssigkeit.

Wir haben zwar, nach Mafsgabe unserer bisherigen Kenntnifs, alles Nöthige gethan, um einer solchen Veränderung vorzubeugen. Nach mög-

[1] Ebendas. S. 157.

[2] Ebendas. S. 164.

Digitized by Google

lichst genauer Erforschung der elektromotorischen Beschaffenheit der Haut schien uns, abgesehen von der leicht zu vermeidenden Wirkung, die das Ausdehnen der Haut begleitet, keine andere Gefahr hier zu drohen als seitens der Benetzung neuer Hautstellen mit der Zuleitungsflüssigkeit. Wir haben daher Vorkehrungen getroffen, damit die eingetauchten Körpertheile die Tiefe, bis zu der sie von der Flüssigkeit bespühlt werden, bei der Zusammenziehung nicht verändern, und damit eine solche Veränderung, wenn sie dennoch stattfände, wenigstens elektromotorisch wirkungslos bliebe (S. oben S. 281. 334). Wir durften also glauben, in dieser Beziehung genug gethan zu haben.

Die Urheber des in Rede stehenden Einwurfes kennen diese Maßregeln und ihre Tragweite zum Theil sehr wohl. Allein sie fühlen sich dabei nicht beruhigt. Sie argwöhnen vielmehr, daſs, in Folge der Muskelanstrengung, die elektromotorische Beschaffenheit der Haut selber eine Veränderung eingehen könnte. Welcher Art diese Veränderung sei, und wie sie zu Stande komme, darüber lassen sie sich nicht aus.

Nur Herr Becquerel der Vater hat sich in den Sitzungen, die die Commission der Pariser Akademie bei mir hielt, darüber erklärt. Seiner Meinung nach nämlich würde beim willkürlichen Tetanus des Armes eine verstärkte Hautabsonderung am Finger stattfinden. Um diese Meinung zu erhärten, forderte Herr Becquerel mich auf, während ich beide Zeigefinger zum Eintauchen in die Zuleitungsgefäſse bereit hielt, den einen Arm anzuspannen, ihn einige Zeitlang angespannt zu halten, und kurze Zeit nach dem Abspannen die Zeigefinger einzutauchen. Es entstand ein schwacher Ausschlag in derselben Richtung, als ob bei eingetauchten Fingern derselbe Arm angespannt worden wäre.

Wie man leicht bemerkt, war nämlich der von Herrn Becquerel vorgeschlagene Versuch nichts Anderes, als eine fehlerhafte Form des oben S. 292. 293 beschriebenen Versuches, durch den ich die elektromotorische Nachwirkung des Tetanus am lebenden unversehrten Menschen nachgewiesen habe. Fehlerhaft nenne ich die Becquerel'sche Versuchsweise deshalb, weil dabei gar leicht Täuschungen durch Hautungleichartigkeiten eintreten können, die sich entwickeln, während die Finger, ohne zum Kreise geschlossen zu sein, allerlei Einflüssen ausgesetzt an der Luft gehalten werden. Weder aber hat Herr Becquerel dies jemals einsehen wollen, noch hat die Commission meiner Erklärung des Becquerel'schen Versuches jemals Gehör geschenkt. Sondern dieser Versuch findet sich, ohne weitere Angabe seiner Bedeutung, in einer Anmerkung zum Bericht angeführt,[1] als von Herrn Becquerel angegeben, während

[1] Comptes rendus etc. 15 Juillet 1850. t. XXXI. p. 38.

Digitized by Google

doch in einer der Abhandlungen, die dem Berichte zu Grunde liegen, die Nachwirkung des Tetanus auf den Muskelstrom ausdrücklich beschrieben steht! (S. oben S. 151 Anm. 1.) Die Verhandlung aber über den Strom bei der Zusammenziehung schliefst der Berichterstatter mit folgenden Worten, die sich an die oben S. 336. 337 angeführten anschliefsen: »Mais »admettons, pour un instant, que cette première difficulté soit levée, que »la forme des muscles du bras qui entrent ici en jeu, que leur structure, »leur enlacement, leur disposition absolue et relative conduisent à la con»clusion voulue, c'est-à-dire qu'il suffise d'y appliquer les lois du courant »musculaire,[1] pour faire voir qu'en composant les directions et les inten»sités, l'on obtient pour résultat final un courant continu dirigé de l'épaule »à la main; toute la question serait-elle résolue? faudrait-il regarder comme »certain que les deux expériences (S. oben S. 337) sont identiques, et »qu'elles s'expliquent rigoureusement par la même cause? Nous ne le pen»sons pas, il y aurait encore des doutes dépendants de la diversité des »conditions et de la complication du problème: mais le moment n'est pas »venu de les faire ressortir et d'en discuter la valeur.«[2] Worin diese Zweifel bestehen, die die Commission sich also sogar für den Fall noch vorbehält, dafs die zuerst von ihr gestellte unmögliche Aufgabe gelöst wäre, die aufsteigende Richtung des Stromes beim willkürlichen Tetanus der Armmuskeln aus der Anordnung dieser Muskeln abzuleiten (S. oben S. 338), dies geht ziemlich deutlich hervor aus einer späteren Aeufserung Pouillet's in seinen *Notions générales de Physique et de Météorologie* (2me Éd. Paris 1852. p. 288. 289), wo er von der thierischen Elektricität, mit Inbegriff des in Rede stehenden Stromes, sagt: »On ne sait »pas si elle doit son origine à des actions chimiques ordinaires, ou à »des forces résultant de l'organisation elle-même.« Ohne geradezu der Becquerel'schen Hypothese zu huldigen, die vielmehr wohl durch seinen Einfluſs von der Erwähnung in dem Bericht ausgeschlossen blieb, fürchtet auch Pouillet, dafs der Strom bei der Zusammenziehung noch irgendwie durch Hautungleichartigkeiten bedingt sein möge.

Ich will im Folgenden die Gründe zusammenstellen, aus denen ich mich für berechtigt halte, die Becquerel'sche Vermuthung, so wie jede ähnliche, welche die Ursache des Stromes beim willkürlichen Tetanus in einer Veränderung der elektromotorischen Beschaffenheit der Haut sucht, von der Hand zu weisen. Ein Theil dieser Gründe beruht auf

[1] Unter lois du courant musculaire versteht Herr Pouillet nach meinem Vorgange das, was ich im Deutschen das Gesetz des Muskelstromes zu nennen pflege, nicht etwa das, was Matteucci, offenbar unpassend, mit demselben Namen belegt hatte (S. oben Bd. I. S. 527).

[2] Comptes rendus etc. 15 Juillet 1850. t. XXXI. p. 46.

Digitized by Google

Thatsachen, die uns schon von früherher bekannt sind. Ein anderer Theil stützt sich auf noch anzustellende Versuche.

Was zunächst Becquerel's Annahme einer vermehrten Hautabsonderung an der tetanisirten Gliedmafse betrifft, so führt heftige und anhaltende Muskelbewegung allerdings eine lebhaftere Thätigkeit der Schweifsdrüsen herbei. Allein es ist mir nicht bewufst, dafs örtliche Muskelzusammenziehung, und noch dazu von so kurzer Dauer, wie die, um welche es sich hier handelt, örtlichen Schweifs bewirkte. Oder wollte man, um dies wahrscheinlicher zu machen, sich auf Krankheitsfälle berufen, gleich den von Holland und von Giesker und Henle beobachteten, wo beim Sprechen und Kauen Schweifs auf der Wange ausbrach? [1] Jedenfalls fühlt und sieht man hier nichts von einer solchen vermehrten Absonderung der Schweifsdrüsen. Auch steht die elektromotorische Wirkung gar nicht im Verhältnifs zur subjectiven Anstrengung des Individuums, sondern zur wirklichen Leistung seiner Muskeln. Es ist aber offenbar die erste, welche die Schweifsabsonderung bedingt. Wer daran zweifeln sollte, kann sich täglich auf Turnsälen überzeugen, wie ein schwächlicher ungeübter Mensch, der sich sehr anstrengt, bei geringerer Leistung mehr in Schweifs geräth, als ein kräftiger und geübter bei viel gewaltigerer.

Allein wir wollen zugehen, dafs die örtliche Zusammenziehung, wenn auch in unwahrnehmbarem Mafse, doch wirklich eine vermehrte Thätigkeit der Schweifsdrüsen an der Haut der entsprechenden Gliedmafsen herbeiführe. Es fragt sich alsdann noch, ob dadurch auch eine elektromotorische Wirkung gesetzt werde, und zwar in der Richtung, wie es der Fall sein müfste, um dadurch die Ströme beim willkürlichen Tetanus zu erklären. Ich habe versucht, diese Frage unmittelbar durch den Versuch zu entscheiden.

Um örtlichen Schweifs der Hand hervorzurufen, steckte ich Hand und Unterarm in einen luftdichten Sack von dünner Guttapercha, der unterhalb des Elbogens mittelst eines Taschentuches so um den Arm zugebunden wurde, dafs er ohne belästigenden Druck doch gut schlofs. Ueber der Guttaperchahülle wurden Hand und Unterarm noch mit einer wollenen Decke umwickelt. Vorher hatte ich die Hände in den mit Kochsalzlösung gefüllten Handgefäfsen auf Richtung und Gröfse ihres Eigenstromes geprüft. In der Guttaperchahülle bedeckte sich die Hand nach einiger Zeit wirklich mit Schweifs. Als ich nun, nach viertelstündigem Aufenthalt der Hand in der Guttaperchahülle, das elektromotorische Verhalten der geschwitzten Hand gegen die ungeschwitzte un-

[1] Henle, Pathologische Untersuchungen. Berlin 1840. S. 147; — Allgemeine Anatomie u. s. w. Leipzig 1841. S. 698.

Digitized by Google

tersuchte, fand ich erstere stark positiv gegen letztere. In einigen Fällen wurde die Nadel des Multiplicators für den Nervenstrom gegen die Hemmung geführt. Die Wirkung ging natürlich in kurzer Zeit vorüber. Wurde einige Minuten später die Prüfung wiederholt, so zeigte sich wieder der Eigenstrom der Hände wie vor dem Versuch.

Da die Hand in der Guttaperchahülle von der Verdunstung abgeschlossen ist, kann sich offenbar ihre Temperatur steigern im Vergleich zu der der anderen Hand. Während die oberflächliche Temperatur dieser letzteren 28—30° C. beträgt (S. oben S. 226), mag die jener nahe 37° kommen. Bei 28—30° ist die Haut, wie man sich erinnert, am negativsten (S. oben S. 208), und man könnte also versucht sein, den hier beobachteten Strom für nichts als einen Thermostrom zu halten, erzeugt durch den Unterschied der Temperatur, der durch die gehemmte Verdunstung der einen Hand bedingt würde.

Diese Vorstellung ist jedoch nicht richtig. Erstens ist zu bedenken, dafs, sobald man die Hand aus der Guttaperchahülle zieht, eine starke Verdunstung eintritt, in Folge deren die Hand wiederum oberflächlich abgekühlt wird, wie man sehr deutlich durch das Gefühl wahrnimmt. Für's zweite habe ich versucht, einen wie starken Strom ich denn erhalten würde, wenn ich die eine Hand in Lösung von 37°, die andere in solcher von 30° einige Zeit hielte und dann beide gleichzeitig in die Handgefäfse übertrüge, deren Lösung 16° warm war. Die Wirkung war fast unmerklich, während, wie gesagt, in dem Versuch mit der Guttaperchahülle die Nadel nicht selten bis an die Hemmung geht. Und doch mufs der Widerstand des Kreises im letzteren Versuch entschieden beträchtlicher sein als im ersteren, wo die Haut beider Hände reichlich durchfeuchtet wird.

Ich habe untersucht, wie sich diese Ströme wegen ungleichen Schwitzens beider Hände in verschiedenen Zuleitungsflüssigkeiten verhalten würden. In Brunnenwasser fand ich sie wie in Kochsalzlösung, nur schienen sie mir stärker zu sein. In der Säure hatten sie dieselbe Richtung, schienen aber schwächer als in der Lösung. Endlich in Kalihydratlösung bin ich über ihre Richtung nicht ganz in's Reine gekommen. Das erstemal, als ich den Versuch anstellte, hatten die Ströme die umgekehrte Richtung von der in den übrigen Zuleitungsflüssigkeiten. Als ich aber, um mich dieses wichtigen Ergebnisses zu versichern, den Versuch später einmal wiederholte, hatten die Ströme die andere Richtung, nämlich diesmal dieselbe wie in den übrigen Zuleitungsflüssigkeiten.

Wie dem auch sei, wir wissen von diesen Strömen nunmehr so viel als wir brauchen, um die Zulässigkeit der Becquerel'schen Hypothese zu beurtheilen. Verschiedener Zustand der beiden Hände in Bezug auf Schweifs ist wirklich im Stande, einen Strom zu erzeugen. Allein

Digitized by Google

dieser Strom hat die verkehrte Richtung von der, die er haben müfste, damit es möglich wäre, die elektromotorische Wirkung beim willkürlichen Tetanus zu erklären durch einen Schweifsausbruch an der tetanisirten Gliedmafse. Er ist, in dem Arme der schwitzenden Hand, statt aufsteigend, wie er sollte, vielmehr absteigend. Die Becquerel'sche Hypothese ist also dergestalt unmittelbar widerlegt.

Nicht besser besteht die Probe des Versuches eine andere Vermuthung, auf die man hier gerathen könnte, und die mit der Becquerel'schen wenigstens noch den Vortheil theilt, einigermafsen in der Wirklichkeit zu fufsen. Es ist Thatsache, dafs heftige örtliche Zusammenziehung eine Hyperämie, einen Congestionszustand der betreffenden Gliedmafse herbeiführt. Damit ein solcher Zustand merklich werde, dazu gehört nun freilich etwas mehr, als die in meinem Versuch stattfindende Anstrengung. Nichtsdestoweniger könnte man doch fragen, ob nicht eine durch den Tetanus bewirkte Hyperämie der Haut den Grund des dabei sich kundgebenden Stromes enthalte.

Es ist nichts leichter, als einen aufserordentlich viel gröfseren Unterschied im Congestionszustande beider Hände herbeizuführen, als er, falls wirklich einer dadurch bewirkt wird, die Folge sein kann des Anspannens sämmtlicher Muskeln des einen Armes in meinem Versuch. Man braucht dazu bekanntlich nur, während die eine Hand am Körper schlaff herunterhängt, die andere einige Zeit lang über den Kopf erhoben zu halten. Diese wird blutleer und leichenblafs, während jene von Blut strotzt und krebsroth erscheint. Ich habe mich aber nicht überzeugen können, dafs die solchergestalt verschieden mit Blut angefüllten Hände, gleichzeitig in die Handgefäfse getaucht, sich irgend anders elektromotorisch verhielten, wie sonst. Der im äufsersten Mafs verschiedene Congestionszustand zweier Hautstellen scheint auf ihr elektromotorisches Verhalten keinen merklichen Einfluſs auszuüben. Um wie viel weniger kann also in Betracht kommen der geringe Unterschied der Art, der in meinem Versuch durch die Zusammenziehung vielleicht bewirkt wird.

Es gab noch eine andere Art, dieselbe Frage dem Versuch zu unterwerfen.

Nach dem Muster des Petit-Morel'schen Schraubentourniquet's liefs ich mir, von Herrn Birk sen., ein für das erste Glied des Zeigefingers passendes Tourniquet machen, welches dazu bestimmt war, dieses Glied schnell und mit grofser Kraft ohne Erschütterung zusammenzuschnüren. Die Schraube des Tourniquets lag, wie der Kasten eines Siegelringes, an der Rückenfläche des Fingers (S. Fig. 148. Taf. VI.). Das Band umfafste seine Volarfläche. Die Schraube wurde mäfsig an-

Digitized by Google

gezogen, so dafs das Tourniquet, gleich einem Siegelringe, fest am Finger hing, und beide Zeigefinger in die Fingergefäfse getaucht. War die Nadel zur Ruhe gekommen, so wurde das Tourniquet rasch und kräftig zugezogen. Sofort röthete sich der Finger und schwoll unterhalb des Bandes an. So kräftig wirkte übrigens die Schraube, dafs die Spur des Bandes noch nach vielen Stunden sichtbar war. Nichtsdestoweniger blieb die Nadel des Multiplicators für den Nervenstrom während des Zuziehens des Tourniquets unbewegt, wenn nur der Finger dabei ruhig gehalten worden war. Einigemal gab sich eine äufserst schwache Wirkung zu erkennen in absteigender Richtung auf der Seite, wo das Tourniquet lag. Vielleicht ist dieselbe auf Ausdehnung der Haut des Fingers durch Spannung nach dem Tourniquet hin zu deuten (S. oben S. 261). Wie dem auch sei, man sieht abermals, dafs eine ungleich bedeutendere Aenderung des Kreislaufes, als die welche bei der Zusammenziehung stattfinden kann, sich keiner elektromotorischen Wirkung fähig erweist.

Dies ist aber noch nicht Alles. Sondern wenn nun das Tourniquet so fest zugezogen blieb als es irgend erträglich war, und es wurden die Muskeln desselben Armes angespannt, so trat sofort der gewöhnliche Strom in aufsteigender Richtung ein. Es ist aber wohl hinreichend klar, dafs dies nicht die Folge sein konnte einer Veränderung des Hautkreislaufes des eingetauchten Fingers unterhalb des Tourniquets. Denn dieser Kreislauf konnte, eben wegen des Tourniquets, gar keine Veränderung mehr erfahren durch Ursachen, welche, wie die Zusammenziehung der Armmuskeln, oberhalb der umschnürten Stelle ihren Sitz hatten. Und auf alle Fälle war die durch das Tourniquet bewirkte Hyperämie der Haut bereits so bedeutend, dafs, wenn wirklich durch das Tourniquet hindurch noch eine ähnliche Wirkung seitens der Muskeln gelangt wäre, diese zur Wirkung des Tourniquets doch nur einen verschwindenden Bruchtheil hinzutragen konnte.

In der beschriebenen Gestalt ist der Versuch von mir mit Herrn Stud. Lindner angestellt worden, indem abwechselnd der Eine von uns das Tourniquet an dem Finger des Anderen zuzog. Allein schon ehe ich in Besitz des Tourniquets war, habe ich mit meinen Freunden den Herren G. Kirchhoff und A. Fick denselben Versuch in folgender Art ausgeführt, deren hier noch gedacht werden mag, da sie, obschon unvollkommener, vor der vorigen den Vorzug hat, in's Werk gesetzt werden zu können mit Hülfsmitteln, die in Jedermanns Händen sind.

Es wurde um das erste Glied des Zeigefingers der einen Hand ein vieldoppelter Ring aus Zwirnsfäden gelegt, durch den ein Knebel gesteckt war. Unter dem Knebel lag eine Kautchukplatte, um zu ver-

Digitized by Google

hüten, dafs beim Drehen des Knebels eine Hautfalte ergriffen und eingeklemmt würde. Obschon natürlich die Handhabung dieser Vorrichtung sehr viel schwieriger war als die des Tourniquets, und es insbesondere nicht leicht war, den Knebel umzudrehen ohne den zu knebelnden Finger dabei etwas zu bewegen, so war doch der Erfolg des Versuches im Wesentlichen ganz der nämliche wie mit dem Tourniquet. Beim Zudrehen des Knebels blieb die Nadel so gut wie unbewegt, und während er auf's äufserste zugedreht gehalten wurde, konnte der Strom wegen des willkürlichen Tetanus wie gewöhnlich hervorgebracht werden.

Ich habe auch an den Herren Kirchhoff und Fick und an mir selber ein gewöhnliches Petit-Morel'sches Schraubentourniquet dem Oberarm angelegt, und die A. brachialis bis zum Verschwinden des Pulses an der A. radialis zusammengedrückt. Auch bei dieser Versuchsweise findet unzweifelhaft schon eine viel gröfsere Veränderung des Blutumlaufes in den Haargefäfsen der Haut statt, als beim willkürlichen Tetanus, bei dem die A. radialis, so viel es das Zittern des Armes zu beurtheilen erlaubt, ruhig fortschlägt. Die Hautvenen unterhalb des Tourniquets schwellen an und ihre Klappen treten hervor. Doch blieb auch hier die Nadel während des Zuschnürens unbewegt. Hingegen verliefs sie sofort den Nullpunkt im richtigen Sinne, als, bei zugeschnürtem Tourniquet, die Armmuskeln so gut es anging angespannt wurden.

Nach diesen Versuchen, wird man gestehen, ist die Congestionshypothese, gleich der von der vermehrten Thätigkeit der Schweifsdrüsen, als thatsächlich widerlegt zu betrachten. Ich weifs nicht, welche Hypothese der Art zur Verdächtigung meines Versuches nun noch übrig bleibt, die auch nur einen Schein von Berechtigung hätte. Ich kann nicht errathen, was Herr Becquerel nunmehr vorbringen wird, um nur nicht gezwungen zu sein, die verhafste Wahrheit zuzugeben. Ich könnte hier füglich diesen Kampf, der gleichsam zu einem Ossianischen mit Nebelgestalten wird, auf sich beruhen lassen. Indessen habe ich noch einige Betrachtungen und Thatsachen mitzutheilen, wodurch, wie ich glaube, in den Augen jedes Unbefangenen der Sieg vollends zu meinen Gunsten entschieden wird.

Ich hebe also zunächst nochmals ausdrücklich hervor, dafs es keine bekannte Veränderung der Haut giebt, welche man noch anrufen könnte, um die Ströme beim willkürlichen Tetanus dadurch zu erklären. Aber noch mehr, es ergeben sich, theils bereits aus dem Vorhergehenden, theils aus dem Folgenden, Bedingungen für die Natur dieser Veränderung, die es mehr als unwahrscheinlich, die es undenkbar scheinen lassen, dafs jemals eine solche Veränderung in Wirklichkeit aufgedeckt werde.

Digitized by Google

Diese Veränderung müfste im unmittelbaren Gefolge der Zusammenziehung, bei allen Menschen mit nie fehlender Regelmäfsigkeit, und der mechanischen Leistung der Muskeln proportional, auftreten. Sie müfste die Zusammenziehung selber um etwas überdauern. Sie müfste die davon betroffene Hautstelle, z. B. die Hand, den Zeigefinger, den Fufs, den Elbogen, in angemessenem Grade negativ erscheinen lassen gegen eine nicht davon betroffene, z. B. die andere Hand, den anderen Zeigefinger, Fufs oder Elbogen, oder die Brust, u. d. m., damit der in den Gliedmafsen aufsteigende Strom zu Stande käme.

Obschon hierin nichts Unmögliches liegt, so verdient doch bemerkt zu werden, dafs alle Veränderungen der elektromotorischen Beschaffenheit der Haut, auf die wir in Wirklichkeit geführt worden sind, vielmehr die Haut positiver, und nicht negativer erscheinen lassen. Die kalte oder warme Hautstelle verhält sich positiv gegen die bei natürlicher Temperatur verharrende (S. oben S. 208). Die ersteingetauchte Hautstelle verhält sich wenigstens in Kochsalzlösung und Brunnenwasser regelmäfsig positiv gegen die jüngstbenetzte (S. oben S. 218). Die ausgedehnte Hautstelle verhält sich positiv gegen die nicht ausgedehnte (S. oben S. 264). Die verletzte Hautstelle verhält sich positiv gegen die nicht verletzte (S. oben S. 268). Endlich die schwitzende Hautstelle verhält sich positiv gegen die nicht schwitzende (S. oben S. 358).

Einzig die hypothetische Veränderung der Haut, die wir hier construiren, wie sie sein müfste, um die Ströme beim willkürlichen Tetanus dadurch zu erklären, einzig diese würde das Vorrecht haben, die Haut negativer, statt positiver erscheinen zu machen. Und sie müfste dies gleichmäfsig in Zuleitungsflüssigkeiten der verschiedensten Art. Diese letztere Forderung klingt zwar theoretisch sehr bedenklich, hat indefs thatsächlich hier wohl weniger zu bedeuten, da ja merkwürdigerweise auch die meisten der uns bekannt gewordenen wirklichen Hautströme ihre Richtung in den verschiedenartigsten Zuleitungsflüssigkeiten bewahren (S. oben S. 273). Ohnehin mufs, wie ich sogleich beweisen werde, jene vorausgesetzte Veränderung nicht oder nicht blos an der Oberfläche der Haut, sondern auch unter ihr in dem Papillarkörper ihren Sitz haben.

Ich habe es mich nämlich nicht verdriefsen lassen, mir auch noch die thatsächliche Ueberzeugung davon zu verschaffen, dafs die elektromotorische Wirkung beim willkürlichen Tetanus in gleicher Richtung fortbesteht, unter sonst gleichen Umständen aber an Stärke zunimmt, wenn die Oberhaut entfernt wird. So mufs natürlich das Verhalten sein, wenn der Strom bei der Zusammenziehung von den Muskeln herrührt, da alsdann der Widerstand der Oberhaut fortgeschafft wird (S. oben S. 304).

Digitized by Google

Ich begann damit, mir nur an den beiden Zeigefingern Stichwunden in der oben S. 272 beschriebenen Art beizubringen, und stellte den Versuch abwechselnd an mit blutenden Wunden und nachdem sie mit Klebäther verschlossen worden waren. Meine Absicht war, dabei zu beobachten, ob der Strom wegen der Zusammenziehung bei offenen Wunden stärker erscheinen würde als bei verklebten. Wäre dies mit Sicherheit der Fall gewesen, so hätte ich offenbar die Frage bereits durch diesen einfachen Versuch für erledigt halten dürfen. Allein obschon bei Gegenwart von Wunden von gleicher Beschaffenheit an zwei Hautstellen sich ein leidliches Gleichgewicht im Kreise herzustellen pflegt (S. oben S. 268), so fand ich doch diese Anordnung zu feineren Beobachtungen nicht geeignet, weil oft die Nadel auf keine Weise zur Ruhe zu bringen ist, sondern zwischen $\pm 20-40°$ im Hin- und Herwandern begriffen bleibt. Es schien mir daher wohl, als ob die Wirkung des Tetanus bei offenen Wunden die bei verklebten stets um ein Merkliches übertraf. Indessen fand ich mich durch dies Ergebnifs noch nicht befriedigt.

Es blieb nun nichts übrig als folgender Versuchsplan. Es mufste der Strom von einer bestimmt umschriebenen Hautstelle zuerst im unverletzten Zustande abgeleitet werden. Dann mufste diese Hautstelle mittelst Blasenpflasters ihrer Oberhaut beraubt, und der Versuch unter übrigens gleichen Umständen wiederholt werden. Nach der Heilung mufste er zum dritten Mal an derselben Stelle vorgenommen werden, um die Ueberzeugung zu gewinnen, dafs die bei Gegenwart der Verletzung wahrgenommene Veränderung des Stromes auch wirklich der Verletzung zuzuschreiben war.

Die Hindernisse, die sich der Ausführung dieses Planes widersetzen, sind aufserordentlich grofs. An den Händen und Füfsen können aus Gründen, die keiner Auseinandersetzung bedürfen, die Blasenpflasterwunden nicht gut angelegt werden. Die Elbogen sind auch keine bequeme Stelle, obschon ich später einmal mich noch dazu verstehen mufste, mir hier ein Blasenpflaster anzulegen (S. unten). So bleibt keine zum Eintauchen geschickte Hautstelle übrig, um den Versuch daran vorzunehmen, und wir finden uns auf die alte Schwierigkeit zurückgeworfen, wie alsdann die Ableitung mit Sicherheit zu bewerkstelligen sei, da, wie man sich erinnert, mit Bäuschen hier nun einmal nichts anzufangen ist (S. oben S. 222. 281).

Folgendermafsen ist es mir gelungen, diese Hindernisse zu besiegen. Als Hautstellen, von denen die Ableitung vorgenommen werden sollte, wählte ich die Rückenfläche der beiden Unterarme dicht oberhalb der Knöchel des Handgelenks.

Digitized by Google

Aus einer starken Platte geschwefelter Guttapercha verfertigte ich über einer hölzernen Form zwei an beiden Enden offene cylindrische Röhren von elliptischem Querschnitt. Die Länge jeder Röhre betrug 62^{mm}. Die grofse Axe der Ellipse des Querschnittes mafs 33^{mm}, die kleine Axe 20^{mm}. Der untere Rand der Röhren war nicht scharf abgeschnitten, sondern, gleich dem hinteren Rande des Brustgefäfses (S. oben S. 234), in 11^{mm} Breite umgelegt, so dafs er zu der als Kopf eines Hutes gedachten Röhre die Krämpe abgab (Fig. 149 A. Taf. VI.).

Diese Röhren wurden an der bezeichneten Stelle des Unterarmes mit ihrem unteren breiten Rande, oder ihrer Krämpe, so aufgesetzt, dafs die grofse Axe ihres elliptischen Querschnittes der Länge des Armes nach verlief. Wie das nur mit drei Seitenwänden versehene parallelepipedische Brustgefäfs im Verein mit der Brust ein vollständiges Gefäfs bildete, worin eine Zuleitungsflüssigkeit die Brusthaut frei, als wäre sie eingetaucht, bespühlen konnte: so sollten hier die eines Bodens ermangelnden Handgelenkgefäfse (so mögen die Röhren heifsen) durch die Rückenfläche des Unterarmes gleichfalls ergänzt werden zu einem vollständigen Gefäfse, das man mit der Flüssigkeit füllen könnte, um so den Strom von der den Grund des Gefäfses bildenden Hautstelle sicher, als wäre sie eingetaucht, abzuleiten.

Hier wie dort war das Schwierige die Art des Verschlusses. Um ihn zu erzielen, waren zunächst die Krämpen eines jeden der beiden Handgelenkgefäfse im knetbaren Zustande der bezeichneten Hautstelle an einem bestimmten Arm angedrückt worden und in dieser Lage erkalten gelassen. Sodann hatte ich eigenthümliche Binden, welche den Dienst des Gurtes beim Brustgefäfs versahen, indem sie die mit Oel bestrichenen Krämpen gegen die entsprechende Stelle des Unterarmes andrückten.

Die Binden bestanden aus einem länglich viereckigen Stücke doppelt gelegter starker Leinwand. Die beiden schmäleren Seiten des länglich viereckten Stückes waren zu zwei Zipfeln ausgeschnitten. Denkt man sich zwei Fähnlein, wie sie an den Lanzen der Uhlanen befindlich sind, mit dem an den Schaft genagelten Ende zusammengenäht, so hat man eine deutliche Vorstellung von der allgemeinen Gestalt meiner Binden. An jeden der vier Zipfel war ein Band genäht. In der Mitte der Binden befand sich eine elliptische Oeffnung, die grofse Axe der Ellipse quer auf die Längsrichtung der Binde gestellt (Fig. 149 B. Taf. VI.).

Durch diese Oeffnung wurde der Kopf der hutförmigen Handgelenkgefäfse gesteckt, wie der Kopf durch die Oeffnung in einem Chilenischen Poncho. Die Gefäfse wurden dann mit ihren Krämpen an der Rückenfläche des Armes in die richtige Lage gebracht, die Bänder an den vier Zipfeln an der Volarfläche zu zweien verschlungen, nach der

Digitized by Google

Rückenfläche fortgeführt und dort über den Krämpen fest zugebunden. Es zeigte sich, dafs die Gefäfse auf diese Weise vollkommen dicht hielten unter dem Druck einer Flüssigkeitssäule, die sie bis an ihren oberen freien Rand erfüllte.

Der eigentliche Versuch begann nun damit, dafs, nachdem mir von einem Gehülfen (Herrn Lindner) die Handgelenkgefäfse angelegt worden waren, ich den Stab der in Fig. 147 Taf. V abgebildeten Vorrichtung mit den Händen ergriff, als wollte ich den Strom beim willkürlichen Tetanus in der gewöhnlichen Art, mit den Fingern in den Fingergefäfsen, darstellen. Dabei kann man leicht den unteren Theil der Rückenfläche des Unterarmes rein nach aufwärts kehren und nahe wagerecht halten, so dafs die darauf befindlichen Handgelenkgefäfse mit ihrer Oeffnung nach oben senkrecht zu stehen kommen. Die Handgelenkgefäfse wurden mit Kochsalzlösung gefüllt, die aber diesmal nicht gesättigt war, sondern zu gleichen Theilen aus gesättigter Lösung und Brunnenwasser bestand. Der Grund davon wird sofort einleuchten. In der Nähe der Handgelenkgefäfse waren die gewöhnlichen Zuleitungsgefäfse passend aufgestellt, und wurden mit jenen in hergebrachter Weise leitend verbunden durch zweimal rechtwinklig gebogene heberartige Röhren voll gesättigter Kochsalzlösung, die an beiden Enden durch Fliefspapierstopfen verschlossen waren, jedoch nicht auf den Grund der Handgelenkgefäfse reichten. Endlich die Zuleitungsgefäfse hingen mit dem Multiplicator für den Nervenstrom zusammen.

Als ich nun den einen oder den anderen Arm willkürlich tetanisirte, wobei der Stab der Vorrichtung Fig. 147 dazu da war, um dem Verschütten der Zuleitungsflüssigkeit durch Bewegung der Hände vorzubeugen, entstand ein kaum wahrnehmbarer Ausschlag in aufsteigender Richtung im tetanisirten Arm. Mit gesättigter Kochsalzlösung in den Handgelenkgefäfsen betrug er 2—3°. Diese grofse Schwäche der Wirkung erklärt sich theils aus der geringen Ausdehnung der benetzten Hautstelle und der geringen Leitungsfähigkeit der Haut der Rückenfläche des Armes im Vergleich z. B. zu der der Handsohle; theils mag sie ihren Grund haben in der in Bezug auf die Anordnung der Muskeln unvortheilhaften Lage der Ableitungsstellen.

Nachdem dergestalt die elektromotorische Wirkung des Tetanus bei dieser Art der Ableitung des Stromes und bei unverletzter Haut erforscht war, legte ich mir am Abend desselben Tages an den Hautstellen, welche den Grund der Handgelenkgefäfse bildeten, mit Oel eingeriebene Blasenpflaster (Emplastrum vesicatorium ordinarium Ph. Bor.). Die Blasenpflaster waren elliptisch, wie der Querschnitt der Handgelenkgefäfse. Ihre grofse Axe mafs 22, ihre kleine 13^{mm}. Sie kamen natürlich so

Digitized by Google

zu liegen, dafs ihre Axen und Mittelpunkte zusammenfielen mit denen der elliptischen Hautstellen, welche den Grund der Handgelenkgefäfse bildeten. Es versteht sich von selbst, dafs diese Stellen und ihre Umgebung zuvor rasirt worden waren. Rings um die Blasenpflaster wurde die Haut sorgfältig und in einer dicken Schicht mit Klebäther bestrichen, damit nicht, wenn die Pflaster sich verschöben, die Blasen aufserhalb des passenden Bezirkes sich hinauserstreckten.

Am anderen Morgen waren zwei gute Blasen gebildet. Sie wurden geöffnet und die Oberhaut von denselben entfernt. Abermals ergriff ich den Stab der Vorrichtung Fig. 147. Taf. V mit den Händen, als wollte ich den Versuch in der gewöhnlichen Form anstellen. Die Handgelenkgefäfse wurden aufgesetzt, so dafs sich die Wunden in deren Grunde befanden, festgebunden, und mit der verdünnteren Kochsalzlösung gefüllt. Es schien mir erlaubt, die Unannehmlichkeit, die dieser Theil des Versuches für mich mit sich führte, dadurch in etwas zu vermindern, dafs ich nicht völlig gesättigte Lösung mit dem entblöfsten Papillarkörper in Berührung brachte. Man begreift nun auch leicht, weshalb ich es vermied, die heberförmigen Röhren, welche die Handgelenkgefäfse mit den Zuleitungsgefäfsen in Verbindung setzten, auf den Grund der ersteren Gefäfse reichen zu lassen. Ihr Ende würde hier auf der Wundfläche geruht und heftige Schmerzen verursacht haben.

So war nun endlich derselbe Kreis als am gestrigen Tage mit dem einzigen Unterschiede hergestellt, dafs am Grunde der beiden Handgelenkgefäfse die Zuleitungsflüssigkeit diesmal zwar eine etwas kleinere, dafür aber von der Oberhaut entblöfste Stelle der Rückenfläche des Unterarmes bespühlte. Die Wunden erwiesen sich sehr schön gleichartig, so dafs die Nadel sich nahe dem Nullpunkt einstellte. Kaum aber spannte ich die Muskeln des einen Armes an, so ging sie in aufsteigendem Sinne bis auf 65°. Dasselbe war der Fall mit dem anderen Arm. Jeder Arm wurde dreimal willkürlich tetanisirt und alle dreimal mit demselben Erfolge.

Aufser meinem Gehülfen, Herrn Lindner, war mein Freund Herr Dr. G. Werther Zeuge dieses Versuches. Nachdem er vollendet war, wurde an den Wunden noch ein Theil der oben S. 269. 275 beschriebenen Beobachtungen angestellt. Nach der theils mechanischen, theils chemischen Mifshandlung, die die Wunden bei diesen verschiedenen Versuchen erfahren hatten, heilten sie nur schwer. Es stiefs sich ein Brandschorf ab und erst nach ungefähr acht Tagen gelang es mir sie trocken zu legen. Als sie, nach mehreren Wochen, vollkommen geheilt waren, so dafs nur noch rothe Flecke ihre Stätte bezeichneten, wiederholte ich den Versuch und beobachtete, wie man sich leicht

Digitized by Google

denken kann, denselben Erfolg wie das erste Mal vor Anlegung der Wunden.

Hier ist der Ort zu berichten, dafs ich, durch v. Humboldt's berühmte Versuche[1] auf diesen Kunstgriff aufmerksam gemacht, mir bereits früher[2] an denselben Stellen Blasenpflasterwunden angelegt hatte, in der Hoffnung, mit Hülfe derselben secundäre Zuckung des stromprüfenden Froschschenkels von den menschlichen Gliedmafsen zu erlangen. Zuerst hatte ich nur an dem einen Arm eine Wunde und brachte den stromprüfenden Schenkel zwischen Zunge und Wunde an, d. h. ich berührte den Nerven des Schenkels mit der Zunge, während der Fufs auf der Wunde lag, und umgekehrt, und strengte dann meine Armmuskeln schnell und kräftig an. Nie jedoch erfolgte eine Zuckung, die als secundäre Zuckung auszulegen gewesen wäre. In der Meinung, dafs vielleicht zwischen Handgelenk und Zunge kein kräftiger Muskelstrom vorhanden sei, brachte ich jetzt auch noch am anderen Arm eine Wunde an der entsprechenden Stelle an. Die erste Wunde war währenddem mit Unguentum Sabinae eiternd erhalten (S. oben S. 269). Allein auch zwischen beiden Wunden wollte keine secundäre Zuckung erscheinen.

Da ich damals noch nicht im Besitz der Handgelenkgefäfse war, mit den Bäuschen nicht zum Ziele kam und auch die Versuche mit den Händen in den Handgefäfsen noch nicht angestellt hatte, so konnte ich nicht wissen, ob das Fehlschlagen der secundären Zuckung in den obigen Versuchen nicht darauf beruhte, dafs zwischen den zur Ableitung gewählten Stellen an der Rückenfläche des Unterarmes oberhalb der Knöchel beim Anspannen eines Armes gar keine so kräftige elektromotorische Wirkung stattfinde, wie z. B. zwischen den Fingern. Es war dies zwar nicht wahrscheinlich; es lag mir aber so viel daran, die secundäre Zuckung vom unversehrten lebenden menschlichen Körper aus zu erlangen, dafs ich kein Mittel dazu unversucht lassen mochte, welches auch nur die mindeste Aussicht auf Erfolg bot. Ein solches Mittel aber lag hier allerdings nahe. Da ich beim Gebrauch des stromprüfenden Schenkels in der Wahl der Hautstellen, von denen ich den Strom ab-

[1] Gren's Neues Journal der Physik. Bd. II. 1795. S. 119;* — Bd. III. 1796. S. 166;* — Versuche über die gereizte Muskel- und Nervenfaser u. s. w. Posen und Berlin 1799. Bd. I. S. 191. 197. 203. 206. 321. 323.* — S. auch Philipp Michaelis, in Gren's Neuem Journal der Physik. Bd. IV. 1797. S. 12. 21.*

[2] Im März 1849. Die Herren v. Humboldt, Joh. Müller und Helmholtz sahen am 15. Mai d. Jahres (S. oben S. 309) noch die Narben an meinen Armen. Ich führe dies nur an, um der Meinung vorzubeugen, als sei ich erst durch die Versuche Despretz', Matteucci's, Zantedeschi's und Cima's (S. oben S. 310. 314. 318. 320) auf den Gedanken gebracht worden, den Strom beim willkürlichen Tetanus auch am stromprüfenden Schenkel nachzuweisen.

Digitized by Google

zuleiten gedachte, nicht mehr durch die Rücksicht beschränkt war, ob diese Hautstellen eintauchbar seien oder nicht, so konnte ich sie so wählen, dafs ich zwischen ihnen bei der Zusammenziehung jedenfalls den stärksten Strom erhielt, der bei dieser Versuchsweise überhaupt zu erhalten ist. Dazu war nur nöthig, die eine Wunde über dem natürlichen Längsschnitt einer kräftigen Muskelmasse, die andere über dem natürlichen Querschnitt derselben oder einer benachbarten Muskelmasse anzulegen. Alsdann mufste ich bei der Zusammenziehung der Muskelmassen in einem zwischen beiden Wunden angebrachten Leiter die Wirkung der negativen Schwankung in solchem Mafse erhalten, wie die Nebenschliefsung durch die Lederhaut und die übrigen angrenzenden Gebilde es nur irgend gestattete. (Vergl. oben S. 303 ff.)

Ich setzte diesen Versuchsplan in's Werk, indem ich an einem und demselben Arm ein Blasenpflaster an der Rückenfläche des Unterarmes über dem Bauch des Supinator longus, Extensor carpi radialis longus und brevis, und ein zweites an der Rückenfläche des Oberarmes, oberhalb des Olekranon über dem von diesem Fortsatz emporsteigenden Sehnenspiegel des Triceps brachii anbrachte, unter dem der untere natürliche Querschnitt dieses Muskels liegt. Der Erfolg war indefs nichtig. Es gelang mir nicht durch plötzliches Anspannen meiner Armmuskeln den stromprüfenden Schenkel zum Zucken zu bringen, weder als der Fufs die eine, der Nerv die andere Wunde berührte, noch als ein in der Längsmittelebene des Beckens gehälftetes ächtes Galvani'sches Präparat (S. oben Bd. I. S. 467) die beiden Wunden mit seinen Füfsen berührte; noch endlich als ich von den Wunden aus mit gesättigter Kochsalzlösung getränkte und mit Eiweifshäutchen bekleidete Bäusche einander so nahe brachte, dafs ich den Zwischenraum zwischen denselben mit dem Nerven des stromprüfenden Schenkels überbrücken konnte. Leider habe ich damals versäumt, auch noch den Kunstgriff anzuwenden, den wir oben S. 307 gebraucht haben, um leichter Zuckung zu erlangen für den Fall, dafs der Strom bei der Zusammenziehung, wie es den Anschein hat, ein mehr stetiger sein sollte.

Ebensowenig wie bei der Zusammenziehung fand übrigens Zuckung statt, wenn bei ruhenden Muskeln die Kette in den obigen Fällen rasch geschlossen und geöffnet wurde. Dies erklärt sich aus der Schwächung des Muskelstromes durch die parelektronomische Schicht und die Nebenschliefsung durch die Lederhaut.

Möglicherweise war es ein Fehler, den ich bei diesen Versuchen beging, dafs die Wunden über Längs- und Querschnitt zweier verschiedenen Muskelgruppen angelegt waren. Unter der Voraussetzung, dafs die Wechsel von An- und Abspannung, aus denen sich der Tetanus zu-

Digitized by Google

sammensetzt, in allen Muskeln eines Gliedmafses zusammenfallen, würde gegen jenes Verfahren allerdings nichts einzuwenden sein. Diese Voraussetzung schien hier um so mehr gerechtfertigt, als die sämmtlichen vier Muskeln von einem und demselben Nerven (dem N. radialis) versorgt werden. Nichtsdestoweniger ist oben S. 306 gezeigt worden, dafs beim willkürlichen Tetanus am lebenden Körper auf jene Annahme nicht mehr zu fufsen ist, und es mufs somit fraglich bleiben, ob nicht in diesem Umstande ein Grund zum Mifslingen meiner Bestrebungen gelegen habe.

Uebrigens ist auch noch nicht ausgemacht, dafs der Strom in dem zwischen den beiden letztbezeichneten Hautstellen angebrachten Nerven des stromprüfenden Schenkels den zwischen den Handgelenkwunden wirklich sehr an Stärke übertraf. Was diesen anlangt, so ist nach dem Ergebnifs des jetzt am Multiplicator mit Hülfe der Handgelenkgefäfse gelungenen Versuches, und mit Hinblick auf die oben S. 305 gegebene Auseinandersetzung, nunmehr wohl deutlich, dafs auch er nicht die hinreichende absolute Stärke besafs, um Zuckung zu bewirken, so wenig wie der durch Zusammenziehung bewirkte Strom bei irgend einer der von uns versuchten Anordnungen.[1]

Auf die absolute Stärke dieses Stromes kam es uns hier übrigens im Wesentlichen gar nicht an. Es kam uns an darauf, durch die Beobachtung die voraussichtliche Verstärkung des Stromes durch Entfernung der Oberhaut zu bestätigen, und dies ist uns auf das Vollständigste gelungen (Vergl. oben S. 304). Der Strom beim willkürlichen Tetanus hat also auch diese Probe überstanden, und der hypothetischen Veränderung der elektromotorischen Eigenschaften der Haut, wodurch Einige diesen Strom erklären möchten, wird somit, erwähntermafsen (S. oben S. 363), die neue Bedingung vorgeschrieben, eine solche zu sein, welche nicht oder nicht blos an der Oberfläche der Haut, sondern auch unter ihr in dem Papillarkörper ihren Sitz habe.

Auch diese Bedingung läfst sich noch ertragen. Sie schliefst noch keine Unmöglichkeit, noch keinen Widerspruch in sich ein. Etwas anderes ist es mit den beiden Punkten, die ich nun noch darzulegen habe.

Der erste Punkt ist der, dafs die Veränderung der Haut, von der

[1] Ich darf die Beschreibung meiner Versuche an Blasenpflasterwunden nicht verlassen, ohne zu erwähnen, dafs ich mehrmals vergeblich versucht habe, v. Humboldt's merkwürdige Beobachtung über die durch Galvanisiren der Wunden bewirkte bösartige Umwandlung ihrer Feuchtigkeit zu erneuern. Man sehe an den oben S. 368 angegebenen Stellen. Sollte diese Beobachtung vielleicht darin ihre Erklärung finden, dafs die Lymphe der Blasenpflasterwunden Cantharidin enthält? Sie riecht wenigstens nach Cantharidin (vergl. Margueron, Médecine éclairée par les Sciences exactes. t. IV. No. 3; — Hufeland und Gottling, Aufklärungen der Arzneiwissenschaft u. s. w. Bd. I. 1793. S. 59. 60*).

Digitized by Google

die Rede ist, durch nichts anderes vermittelt sein könnte, als durch die Nerven. Dies geht mit Bestimmtheit hervor aus dem Erfolg des Versuches mit dem Tourniquet in seinen verschiedenen Gestalten (S. oben S. 360 ff.). Ich frage nun erstlich, welche Veränderung die Nerven in der Haut, den Papillarkörper mit eingerechnet, im Nu hervorbringen sollen, wodurch die Haut negativer würde im Verhältnifs der mechanischen Leistung der Muskeln, die gleichzeitig angespannt werden. Ich frage für's zweite ob es irgend denkbar ist, dafs eine solche Veränderung in der Haut des Fufses durch die Nerven vermittelt werde, in Folge der Anstrengung allein der Gruppe der Unterschenkelstrecker, mit der der N. ischiadicus gar nichts zu schaffen hat, dessen Zweige grofsentheils die Haut des Fufses versehen, während Aeste der N. cruralis sich in jenen Muskeln verbreiten (S. oben S. 290). Wenn mich nicht Alles täuscht, sind durch diese Fragen die Vertheidiger der hypothetischen Veränderung, die Gegner meiner Lehre, ad absurdum geführt.

Aber nicht genug. Bei der oben S. 291 beschriebenen Form des Versuches, bei der der Strom vom Zeigefinger und Elbogen desselben Armes abgeleitet wird und sämmtliche Muskeln des Armes angespannt werden, müfste ohne Zweifel auch die Haut des Elbogens die hypothetische Veränderung erleiden. Denn wenn man den Versuch mit beiden Elbogen in beiden Handgefäfsen oder mit dem einen Elbogen in dem einen Handgefäfs einerseits, andererseits dem Brustgefäfs macht, wobei auch sämmtliche Muskeln des Armes angespannt werden, entsteht in dem Oberarm des angespannten Armes ein aufsteigender Strom, d. h. der Elbogen dieses Armes ist negativer geworden (S. oben S. 290). In dem eben erwähnten Versuch, wo sich nur der Unterarm im Kreise befindet, ist der Strom bei der Zusammenziehung stets ansteigend; es findet stets eine Verstärkung des auch bei ruhenden Muskeln herrschenden starken Stromes von der Hand im Arm zum Elbogen statt. Will man also die in Rede stehende Hypothese durchführen, so sieht man sich gezwungen, zu dem Heer von Annahmen, welche man schon hat machen müssen, auch noch die hinzuzufügen, dafs die Hautstellen durch die Veränderung, welche den Tetanus begleiten soll, umsomehr negativer werden, je mehr sie es schon sind im Verhältnifs zu einander. Die Haut des Fingers, die bereits stark negativ ist gegen die des Elbogens, würde in Folge der Zusammenziehung mehr als der Elbogen an Negativität zunehmen, und daher der aufsteigende Strom. Anders kommt man nicht durch. Denn denkt man sich, dafs die verschiedenen Stellen des Armes alle in gleichem Mafse jene Veränderung erfahren, so kommt kein Strom zu Stande; und denkt man sich, dafs je positiver eine Hautstelle ist, um so stärker negativ werde sie durch die Zusammen-

Digitized by Google

ziehung, so erhält man einen absteigenden Strom statt des aufsteigenden, dessen man bedarf.

Also im geraden Verhältnifs zu ihrer Negativität sollen die verschiedenen Hautstellen negativer werden in Folge des willkürlichen Tetanus benachbarter Muskeln. Dieser Satz läfst eine unmittelbare experimentelle Prüfung zu. Aufser Elbogen und Finger giebt es noch andere Hautstellen, zwischen denen ein starker beständiger Strom erhalten werden kann. Wenn man in der Umgebung dieser Hautstellen die Zusammenziehung von Muskeln vornähme, so müfste das Ergebnifs stets Verstärkung dieses Stromes sein.

Wenn z. B. der Strom zwischen Hand und Fufs aufsteigend ist im Bein (S. oben S. 236), folglich sich die Hand positiv verhält gegen den Fufs, und man spannt Arm und Bein zugleich an, so müfste, nach der obigen Schlufsfolgerung, der Fufs mehr an Negativität zunehmen als die Hand, d. h. es müfste ein Ausschlag im Sinne des schon herrschenden aufsteigenden Stromes geschehen. Wäre hingegen der Strom ursprünglich absteigend, so müfste das Umgekehrte der Fall sein, der Ausschlag bei der Zusammenziehung müfste alsdann stets absteigend sein. Es müfste also die Richtung dieses Ausschlages statt durch ein beständiges Uebergewicht des Armes entweder oder des Beines bestimmt und somit selber beständig, vielmehr abhängig sein von der unbeständigen Richtung des Stromes zwischen Hand und Fufs, und zwar stets damit zusammenfallend.

Beim Anstellen des Versuches fand ich es ausnehmend schwer, ja kaum thunlich, Arm und Bein in ihrer ganzen Ausdehnung gleichzeitig mit gleicher Kraft anzuspannen. Demgemäfs ging die Nadel aus der Ruhelage, in der sie durch den gerade herrschenden Strom gehalten wurde, gleichviel ob dieser auf- oder absteigend war, bald vor- bald rückwärts, bis zuletzt der Arm oder das Bein den Sieg davontrug, und sie im Sinne des stärker wirksamen Gliedes entschieden abgelenkt wurde. Auf keinen Fall hatte die Richtung, in der dies schliefslich geschah, irgend etwas zu schaffen mit der Richtung des herrschenden Stromes zwischen Hand und Fufs. Wenn eine vorwiegende Richtung jener Ablenkung unterschieden werden konnte, so war vielmehr das zu bemerken, dafs der Arm, unstreitig wegen seiner gröfseren Uebung, meistens zuletzt das Uebergewicht erhielt.

Es gab noch eine andere Gelegenheit diesen Versuch auszuführen, bei der die Schwierigkeit fortfällt, die bei der beschriebenen Gestalt desselben aus der ungleichen Beherrschung von Arm und Bein wenigstens bei mir erwächst. Durch die beiden Hände selber nämlich wird diese Gelegenheit geboten, deren Rücken, wie man sich erinnert, sich stark positiv verhält gegen ihre Sohle.

Digitized by Google

Ich brauche nicht zu sagen, was sich von selbst versteht, dafs man den Strom beim willkürlichen Tetanus der beiden Arme ebensogut bei Ableitung des Stromes vom Rücken allein, als bei Ableitung von der Handsohle allein wahrnehmen kann. Ich habe diesen Versuch angestellt, theils indem ich den Spiegel der Zuleitungsflüssigkeiten nur mit den genannten Hautstellen berührte, theils auch indem ich eine oder beide Handsohlen mit Klebäther überzog. Der Strom bei der Zusammenziehung erscheint in der richtigen Richtung, trotz der so sehr verschiedenen elektromotorischen Eigenschaften der beiden Hautstellen, gerade wie er dies von einer Wundfläche aus thut. Er erscheint schwächer namentlich vom Handrücken aus, einmal wegen vergröfserten Widerstandes, für's zweite wegen der Unbequemlichkeit, die der Versuch unter allen Umständen mit sich bringt, gleichviel wie man es bewirke, dafs die Ableitung nur von Rücken oder nur von Sohle geschieht, ob durch Bestreichen der auszuschliefsenden Fläche mit Klebäther oder durch die besondere Haltung der Hände in den Zuleitungsgefäfsen.

Wie dem auch sei, es ist nach der obigen Schlufsfolge klar, dafs wenn man die Zuleitungsflüssigkeit einerseits mit dem Handrücken, andererseits mit der Handsohle berührt, so dafs man einen beständigen Strom im Körper von Handsohle zu Handrücken hat, und man spannt die Muskeln beider Arme an, so müfste stets ein Ausschlag in dem Sinne des herrschenden Stromes erfolgen. Dies ist jedoch nicht der Fall. Der Ausschlag ist vielmehr bald nach der einen, bald nach der anderen Seite gerichtet, gerade als ob man den Versuch in seiner gewöhnlichen Gestalt anstellte (S. oben S. 286. 288).

(XII) Schlufsbemerkungen über die Ströme beim willkürlichen Tetanus.

Ich glaube, dafs nach diesen Versuchen und Betrachtungen jeder Unbefangene mir Recht geben wird, wenn ich hier aufhöre, Gründe gegen die Ansicht zu häufen, wonach die Ströme bei der Zusammenziehung auf einer Veränderung der elektromotorischen Beschaffenheit der Haut beruhen sollen.

Ich habe gezeigt, dafs diese Ansicht jedes Grundes entbehrt, dafs sie Unmöglichkeiten in sich schliefst und auf Widersprüche führt. Ihr gegenüber steht eine Erklärung des Thatbestandes, so einfach, so natürlich, so nach allen Seiten befriedigend, dafs es wirklich nicht zu begreifen sein würde, wie man nach einer anderen hat suchen können, wenn nicht zum Verständnifs dieser Erklärung einige Vertrautheit mit dem Gang und den Ergebnissen dieser Untersuchungen gehörte.

Mir, der ich ganz natürlich im Besitz dieser Kenntnisse war, wie

Digitized by Google

denjenigen deutschen Forschern, die sie sich nach mir angeeignet haben, ist diese Ansicht stets als die richtige erschienen. Vollends ist dies nun der Fall, wo sie Stich gehalten hat vor Proben der verschiedensten Art, wo jede andere Deutung von ihr aus dem Felde geschlagen ist. Wird jetzt auch die Gegenpartei sich befriedigt erklären? Wird man aufhören, hypothetische Ursachen bei den Haaren herbeizuziehen, wo ausreichende Gründe bereits wirklich vorhanden sind? Ich weifs es nicht. Welches aber auch der Erfolg sei, ich fühle um so mehr das Recht, ehe ich die Waffen wieder aufnehme, hier erst erneute wohlbegründete Angriffe abzuwarten, als ich selber, wie hier beiläufig gesagt sein mag, dieser ganzen Angelegenheit niemals eine solche Wichtigkeit beigelegt habe, wie ein grofser Theil der wissenschaftlichen Welt es gethan hat. Ich habe in dem in Rede stehenden Versuch nie etwas anderes gesehen, und sehe auch zur Stunde darin noch nichts anderes, als einen immerhin pikanten Folgesatz des Grundversuches, den ich bereits sechs Jahre früher in meinem *vorläufigen Abrifs* beschrieb, der negativen Schwankung nämlich des Stromes eines auf elektrischem Wege tetanisirten Froschmuskels. Wäre der Versuch am Frosch gehörig bekannt, verstanden und gewürdigt worden, der am Menschen hätte schwerlich das Aufsehen, aber auch schwerlich den Widerspruch erweckt, wie es jetzt der Fall gewesen ist. Von meinem Standpunkt aus hat der so viel besprochene Versuch vor jenem unbeachtet gebliebenen eben so wenig voraus, als, nach Joh. Müller's treffender Bemerkung, Ure's galvanische Versuche an Hingerichteten vor dem gewöhnlichsten Froschschenkelversuch.[1] Sein wissenschaftlicher Werth ist daher in meinen Augen verhältnifsmäfsig sehr gering. Er beweist nur die Wirklichkeit von etwas, was sich ohnehin von selbst versteht. Die Art, wie der Strom darin zu Stande kommt, ist viel zu verwickelt, als dafs er als Grundversuch dieser Klasse von Erscheinungen gelten, oder zur weiteren Fortbildung unserer Kenntnifs derselben dienen könnte. Dafs die Zusammenziehung darin willkürlich geschieht, kann nur denen ein Vorzug scheinen, die, mit der Physik der Nerven minder vertraut, nicht bedenken, dafs ein willkürlich oder auf irgend eine andere Art tetanisirter Nerv sich in einem beliebigen Punkte unterhalb der Stelle, wo die Erregung geschah, in nichts von einander unterscheiden.

Folgendes ist also nunmehr die Vorstellungsweise, bei der wir hinsichtlich der Ströme durch willkürlichen Tetanus der menschlichen Gliedmafsen stehen bleiben. Es sind zwei verschiedene Fälle zu zer-

[1] Handbuch der Physiologie u. s. w. Bd. I. 3. Auflage. 1838. S. 642.

Digitized by Google

gliedern, der in welchem die Ableitung der Ströme von asymmetrischen und der in welchem sie von symmetrischen Hautstellen geschieht.

Im ersten Falle ist fast stets ein starker Hautstrom vorhanden und widersetzt sich der Wahrnehmung des Stromes der ruhenden Muskeln in Gemeinschaft mit dem Widerstande der Oberhaut, der Nebenschliefsung durch die Lederhaut, endlich der Schwächung der elektromotorischen Kraft durch die parelektronomische Schicht. In dem oben beschriebenen Versuch, in welchem ich mit dem Nerven des stromprüfenden Schenkels den Kreis zweier, über Längs- und Querschnitt benachbarter Muskelgruppen angelegten Wunden schliefsen und öffnen konnte, ohne dafs Zuckung erfolgte, waren die beiden ersten Hindernisse für die Wahrnehmung des Stromes der ruhenden Muskeln zwar beseitigt, aber die beiden letzten reichten noch hin, um sie zu vereiteln. Beim willkürlichen Tetanus werden die Muskelmassen, wegen der parelektronomischen Schicht, im negativen Sinne stärker wirksam als sie während der Ruhe positiv wirksam waren. Diese im Augenblick der Zusammenziehung zeitweise auftretende Wirkung ist es überdies leicht von den währenddem beständig bleibenden Hautströmen zu unterscheiden, und so kommen also die Ströme beim willkürlichen Tetanus zwischen asymmetrischen Hautstellen zu Stande. Sie sind aufsteigend von Hand und Fufs zum Rumpf, aufsteigend in Oberarm, Unterarm, Oberschenkel und Unterschenkel. Es ist daraus zu schliefsen, dafs bei ruhenden Muskeln der Strom in allen diesen Gliedern und Gliederabtheilungen die umgekehrte Richtung hat, d. h. absteigend ist.

Was den Fall betrifft, wo die Ableitung der Ströme von symmetrischen Körperstellen geschieht, so fallen dabei die starken Hautströme fort, die bei der vorigen Klasse von Anordnungen ein wesentliches Hindernifs abgaben für die Wahrnehmung des Stromes der ruhenden Muskeln. Allein damit ist begreiflich nichts gewonnen für diese Wahrnehmung, weil nun die Muskelströme auf beiden Seiten sich das Gleichgewicht halten. Beim willkürlichen Tetanus der Muskeln auf der einen Seite kehrt sich der Strom auf dieser Seite, wie vorhin gesagt wurde, um, und wird stärker in negativer Richtung, als er in positiver war. Anstatt also ferner dem Strom der anderen Seite das Gleichgewicht zu halten, fügt er sich ihm hinzu, und es entsteht ein Ausschlag im Sinne des Stromes der nicht tetanisirten Muskeln. So verwickelt ist die Entstehungsweise dieses Ausschlages. Weder rührt er allein her von einer Abnahme des Stromes des tetanisirten Gliedmafses, wie Pouillet sich dachte (S. oben S. 337); noch entsteht erst im Augenblick der Zusammenziehung ein Strom in diesem Gliedmafs, wie ich selber es wohl darzustellen pflegte, so lange es sich eben nur darum handelte, den

Digitized by Google

nackten Thatbestand des Versuches zu veranschaulichen[1]; sondern diese beiden Vorgänge finden gleichzeitig statt, indem ein in den ruhenden Muskeln vorhandener Strom sich beim Tetanus umkehrt, und in umgekehrter Richtung zu gröfserer Stärke anwächst als ihm während der Ruhe im ursprünglichen Sinne zukam.

Oben S. 260 ist über den Eigenstrom zwischen symmetrischen Hautstellen unter anderen die Vermuthung geäufsert worden, er möge der Ausdruck sein einer ungleichen Ausbildung der parelektronomischen Schicht an den Muskeln der beiden Seiten. In Bezug auf diese Vermuthung ist jetzt noch zu bemerken, dafs ihre Zulässigkeit davon abhängt, ob sich im Laufe fortgesetzter Versuche mit Entschiedenheit eine stets gleiche Richtung des Eigenstromes zwischen beliebigen Fingern beider Hände und zwischen beiden Händen herausstellt (S. oben S. 205). Denn der Strom bei der Zusammenziehung behält zwischen beliebigen Fingern und den Händen stets einerlei Richtung. Es ist aber gleichgültig ob ein Arm über den anderen in Folge der negativen Schwankung, oder in Folge einer höheren Ausbildung der parelektronomischen Schicht an den Muskeln dieses letzteren, den Sieg davontrage. Es kann daher wohl der durch verschiedene Ausbildung der parelektronomischen Schicht bedingte Unterschied der Ströme der ruhenden Muskeln beider Arme sein Zeichen wechseln, d. h. bald der eine Arm, bald der andere das Uebergewicht haben, aber in der Richtung, in der dieser Unterschied einmal erscheint, mufs er sich auch zwischen beliebigen Fingern der beiden Hände und diesen selber zeigen. Sollte sich diese Ansicht von dem Wesen und der Ursache des Eigenstromes bei fortgesetzten Forschungen wirklich bestätigen, so sieht man endlich, dafs derselbe ganz übereinkommen würde mit dem Strome, den wir beim Eintauchen der beiden Füfse eines rittlings angebrachten Galvani'schen Präparates in die beiden Zuleitungsgefäfse des Multiplicators am Anfang dieser Untersuchungen erhielten (S. oben Bd. I. S. 469) und erst viel später (S. oben S. 170) mit Hülfe unserer Kenntnifs der parelektronomischen Schicht zu erklären vermochten.

[1] Monatsberichte der Berliner Akademie. October 1848. S. 362; — Comptes rendus etc. 21 Mai 1849. t. XXVIII. p. 641.* (Vergl. oben S. 337 Anm.).

Digitized by Google

§. V.

Von den secundär-elektromotorischen Wirkungen der Muskeln und Nerven.

1. Einleitung.

Die elektromotorischen Erscheinungen der Nerven und Muskeln, um die es sich bisher handelte, lassen sich, wenn wir uns rein an das Thatsächliche halten, in zwei grofse Klassen eintheilen.

Die eine Klasse umfafst diejenigen Erscheinungen, die ohne irgend einen äufseren Einflufs, durch eine den Geweben innewohnende Thätigkeit, hervorgebracht werden. Hierher gehören der Strom des ruhenden Muskels und Nerven, nebst den Veränderungen, welche beide Ströme theils beim Tetanisiren, theils in Folge allerhand verderblicher Einflüsse erleiden, gleichviel ob diese Veränderungen nur so lange anhalten, als der Einflufs, der sie hervorrief, oder ob sie denselben mehr oder weniger überdauern. Denn die Veränderungen der elektromotorischen Thätigkeit sind in diesen Fällen nicht unmittelbare Wirkungen der äufseren Einflüsse, sondern diese treffen die Gewebe überhaupt, verändern deren Zustand und mit ihm die elektromotorische Thätigkeit, daher denn auch Einflüsse der verschiedensten Art letztere in gleicher Weise bedingen, wofern sie auf die Gewebe einerlei Wirkung ausüben, z. B. die mannigfaltigen Reize, wodurch wir Tetanus und gleichzeitig negative Schwankung des Muskel- und Nervenstromes erzeugt haben.

Die andere Klasse elektromotorischer Erscheinungen wird gebildet durch den von uns sogenannten elektrotonischen Zustand der Nerven, der sein Entsprechendes bei den Muskeln noch nicht gefunden hat. Unter dem Einflufs eines elektrischen Stromes wirken während der Dauer desselben die Nerven in bestimmter Art elektromotorisch. Der fremde elektrische Strom erscheint als die unmittelbare Ursache des im Nerven auftretenden elektrischen Vorganges und kann in seiner Wirksamkeit durch kein anderes Agens ersetzt werden.

Jetzt wartet unser noch eine dritte Klasse elektromotorischer Phänomene der Nerven und Muskeln. Sie gleicht der vorigen darin, dafs ein fremder elektrischer Strom zunächst als unmittelbare Ursache der an den beiden Geweben wahrnehmbaren elektromotorischen Leistungen erscheint. Sie unterscheidet sich aber von derselben darin, dafs diesmal die elektrische Thätigkeit der Nerven und Muskeln erst bemerkbar wird, nachdem der fremde Strom vorüber ist, und dafs sie ihren Sitz zunächst ausschliefslich in der unmittelbar betroffenen Strecke hat. Es

Digitized by Google

wird sich uns, im Lauf der Untersuchung, allerdings die Frage aufdrängen, ob nicht diese Erscheinungen mit denen des elektrotonischen Zustandes wesentlich einerlei seien, wie auch schon die in diesem Zustand sich äufsernden, beim ersten Blick scheinbar neuen elektromotorischen Kräfte mit höchster Wahrscheinlichkeit als einerlei mit denen bezeichnet worden sind, die die Erscheinung des Stromes des ruhenden Nerven bedingen. Einstweilen jedoch wird es rathsam sein, die neuen Erscheinungen, frei von irgend welcher Voraussetzung, so zu untersuchen und zu zergliedern, als ob es sich um eine neue Art Ladung in einer polarisirbaren Reihe von Leitern handelte, eine Klasse von Wirkungen, womit die in Rede stehenden Erscheinungen in der That zunächst die auffallendste Aehnlichkeit zeigen.

Die Grundwahrnehmung, von der ich hier ausging, wurde denn auch bei Gelegenheit der oben Bd. I. S. 376 mitgetheilten Untersuchung der Peltier'schen Ladung gemacht. Da diese letztere Erscheinung in der nächsten Folge eine grofse Rolle spielen wird, so dürfte es angemessen sein, das damals darüber Ermittelte mit Berücksichtigung einiger Umstände, welche mir seitdem bekannt geworden sind, kurz zu wiederholen.

Zuerst nämlich bin ich jetzt in Stand gesetzt, Peltier's eigene Angaben mitzutheilen.[1] »On doit à M. Ritter« — sagt er — »puis à M. de la Rive, la connaissance de ce fait: qu'un arc métallique formant un circuit hydro-électrique par son immersion dans deux liquides séparés devient un couple voltaïque et produit un courant en sens inverse d'autant plus énergique que le métal est plus inaltérable. On avait pensé d'abord qu'une polarisation moléculaire de tout l'arc était la cause de ce contre-courant; mais il a été reconnu depuis qu'il n'y avait que les bouts immergés qui jouissaient de cette faculté, et qu'elle était due à une couche d'oxigène au pôle positif, et une d'hydrogène au pôle négatif. La même cause produit les mêmes effets sur la grenouille: la pate positive se charge d'oxigène et la négative d'hydrogène. Le contre-courant se démontre en plongeant les pates dans deux tasses où aboutit le fil d'un galvanomètre très-sensible..... Plus la pile sera forte, plus le temps du courant sera long, plus les pates seront chargées .... Ce qui est vrai pour une grenouille entière l'est encore pour un muscle, pour une portion de muscle.... Au-dessus des portions immergées il n'y a aucun effet produit. C'est en vain que l'on interroge toutes les parties non immergées par des fils de pla-

[1] Sie stehen L'Institut 1834. t. II. No. 84. p. 410.* — S. auch Notice sur la Vie et les Travaux scientifiques de J. C. A. Peltier etc. Paris 1847. p. 112. 113.*

Digitized by Google

tine et un bon galvanomètre, on ne trouve aucune de ces agglomérations électriques, comme le suppose M. Marianini.« (Vergl. oben Bd. I. S. 376.)

Für seine Behauptung, dafs das positive Bein sich mit Sauerstoff, das negative mit Wasserstoff überziehe, führt Peltier nicht den mindesten Beweis an. Er stellt vielmehr, wie man sieht, auch noch die Meinung auf, das mit den Zersetzungsproducten des Wassers oberflächlich bekleidete Muskelfleisch verhalte sich elektromotorisch gleich einer metallischen Zwischenplatte, ohne weder zu zeigen, dafs die Thatsachen zu dieser Ansicht zwingen, noch dieselbe auf anderem Wege annehmbarer zu machen. Auffallend ist, dafs er hiebei des Froschstromes gar nicht gedenkt, mit dem doch der von den Gliedmafsen ausgehende secundäre Strom sich algebraïsch summirt. Becquerel und Matteucci (S. oben Bd. I. S. 377) haben zu Peltier's Angaben nichts hinzugefügt, nur dafs der letztere erwähnt, man könne die elektromotorische Gegenkraft auch mittelst des stromprüfenden Schenkels darthun, und aus mehreren hintereinander durchströmten Froschgliedmafsen eine secundäre Säule zusammensetzen.[1]

Nachdem wir oben a. a. O. das Dasein einer solchen rasch vergänglichen, von Stromstärke und -Dauer innerhalb gewisser Grenzen abhängigen Gegenkraft an durchströmten Froschgliedmafsen festgestellt hatten, gelang es uns auch alsbald, an der Eintrittsstelle des Stromes in das Präparat den elektropositiven, an seiner Austrittsstelle den elektronegativen Bestandtheil des zuleitenden Elektrolyten nachzuweisen. Die thierischen Gewebe scheinen sich also in der That, wie sich Peltier dachte, gleich einer metallischen Zwischenplatte dem Wandern der Ionen zu widersetzen und somit sie zur Ausscheidung zu veranlassen. Es lag uns demnach sehr nahe uns eine der ursprünglichen Peltier'schen ähnliche Vorstellung von dem Wesen des von ihm entdeckten Ladungsvorganges zu bilden, denn die Vermuthung, auf die er diese Vorstellung gründete, war für uns eine Thatsache. Der Versuch indefs, den Peltier anstellte um die Richtigkeit seiner Vorstellung zu prüfen, und dessen Ergebnifs ihn darin bestärkte, gab in unseren Händen einen ganz anderen Erfolg. Dieser Versuch bestand darin, nach dem Durchgang des Stromes die Multiplicatorenden auch solchen Theilen des Präparates anzulegen, die gar nicht mit der Zuleitungsflüssigkeit in Berührung gewesen waren. Peltier erhielt dabei keine Spur von Wirkung, wie aus den gesperrten Worten in seiner oben angeführten Mittheil-

[1] Bibliothèque universelle etc. Nouvelle Série. Décembre 1838. t. XVIII. p. 360*; — Essai etc. p. 14.*

Digitized by Google

lung erhellt, und schlofs daraus folgerichtig, dafs der Sitz der elektromotorischen Kraft nur an der Grenze der durchströmten Theile und der Zuleitungsflüssigkeit sei. Er täuschte sich aber, was den Thatbestand anlangt; denn in Wirklichkeit verhält sich, wie wir fanden, jeder einzelne Theil des Präparates in derselben Richtung elektromotorisch wirksam wie das Ganze.

So wurden wir zur Annahme geführt, dafs die durchströmten Froschmuskeln in derselben Art Ladungen annehmen, wie dies der Fall sein müfste mit Platinschwamm oder mit einem Stück Kohle, die mit einem Elektrolyten getränkt wäre. Ein solches würde nach allen Richtungen eine dichtgedrängte Reihe unzähliger, nach Art der Metalle polarisirbarer Zwischenplatten darbieten. Es müfste also, nach dem Durchgang eines Stromes, auf allen Punkten eine dem daselbst herrschenden Strom entgegengesetzte und seiner Dichte entsprechende elektromotorische Kraft entfalten. Gleichviel wo die Multiplicatorenden angelegt würden, mit Ausschlufs solcher Punkte der Oberfläche die auf isoëlektrischen Curven gelegen waren, würde man einen Strom in umgekehrter Richtung von dem ursprünglichen erhalten. Der Strom müfste, bei gleichem Widerstande des Kreises, um so stärker sein, je länger die Strecke des Kohlenstückes wäre, die man dergestalt mit den Multiplicatorenden umfafste.

Nach den hier vorgezeichneten Gesetzen schienen die Muskeln polarisirbar zu sein. Anstatt um die Erzeugung einer Grove'schen Gasbatterie oder einer Kette aus mehreren flüssigen Leitern durch den Strom, wie sie Peltier muthmafste, würde es sich demnach hier vielmehr handeln um eine den Muskeln zustehende besondere Eigenschaft den elektrischen Strömen gegenüber, die man die innere Polarisirbarkeit nennen kann.

Peltier betrachtete, ohne irgend einen Beweis dafür beizubringen, die von ihm entdeckte Erscheinung als den Muskeln lediglich vermöge ihres Aggregatzustandes, und ganz unabhängig von ihren Lebenseigenschaften zukommend. Es war jedoch, wie man sieht, die Möglichkeit sehr wohl vorhanden, dafs dies besondere Verhalten der Muskeln in Beziehung stehe zu ihren sonstigen elektromotorischen Eigenschaften. Indessen glaubten wir durch den Versuch zu finden, dafs auch gesottene Muskeln noch ebenso wie die zuckungsfähigen innerlich polarisirbar seien,[1] und es schien also in der That, als ob die innere Polarisirbarkeit nichts mit dem Lebenszustande zu schaffen habe.

[1] Die Folge wird lehren, dafs unsere Vorstellungen über diesen Punkt einer wesentlichen Berichtigung bedürfen. S. unten, 6.

Digitized by Google

Es entstand somit die Vermuthung, dafs noch andere poröse und mit Flüssigkeiten getränkte Körper derselben Erscheinung fähig seien. Es wurden in dieser Hinsicht geprüft Froschhaut, thierische Blase, elastisches Gewebe, Holz und poröser Thon. Blase, Holz und poröser Thon waren mit Wasser getränkt. Die Blase und der Thon gaben kein Zeichen von Polarisation. Die Froschhaut und das Holz dagegen zeigten Polarisation, als sie dem Strom ausgesetzt und dann in den Multiplicatorkreis gebracht wurden. Auch das elastische Gewebe gab eine secundär-elektromotorische Wirkung, allein merkwürdigerweise in umgekehrter Richtung von den Muskeln, dem Holz und der Froschhaut, d. h. dem ursprünglichen Strom gleichgerichtet.

Diese Wirkungen nahmen wir ohne Weiteres für einerlei mit den an den Muskeln beobachteten, d. h. für gleichfalls auf innerer Polarisation beruhend. Wir hatten jedoch nicht gezeigt, dafs dieselben auch beobachtet werden können, wenn man die Multiplicatorenden an beliebige zwei auf der Bahn des Stroms gelegene Punkte anbringt. Nun ist aber allerdings die Möglichkeit vorhanden, dafs auch an den Berührungsstellen dieser Körper mit der Zuleitungsflüssigkeit, wie an denen der Muskeln, eine Ausscheidung von Zersetzungsstoffen stattfinde, (obschon wir beim Holz vergeblich danach suchten); dafs diese Ausscheidung, was wir damals nicht bedachten, elektromotorisch wirke; und dafs diese Wirkung sich bei den Muskeln mit der inneren Polarisation und dem Muskelstrom algebraïsch summirt, die secundären Ströme der übrigen porösen Körper aber allein bedingt habe. Es kann folglich noch gar nicht für bewiesen gelten, dafs jene Körper gleich den Muskeln eine innere Polarisirbarkeit in der einen oder der anderen Richtung besitzen, und unsere damalige Untersuchung ist daher auch in diesem Punkte als unvollständig anzusehen.

Sie wird jetzt, was diese und manche andere Lücke betrifft, ergänzt werden. Folgendes ist nunmehr die Wahrnehmung, die mich hier zu weiteren Ermittelungen aufforderte. Bei den Versuchen über die innere Polarisation der Froschmuskeln ereignete es sich zuweilen, dafs anstatt eines Ausschlages in umgekehrter Richtung des ursprünglichen Stromes ein solcher in derselben Richtung erhalten wurde. Dies geschah vorzüglich, wenn bei verhältnifsmäfsig grofser Stärke des ursprünglichen Stromes das Präparat demselben nur kurze Zeit ausgesetzt wurde. Diese gleichgerichtete Wirkung war vorübergehend wie die umgekehrte, von Peltier zuerst gesehene, mit der sie sich übrigens, wie mit der den Muskeln eigenen elektromotorischen Wirkung, algebraïsch zu summiren schien. Was sie aber, nächst der Richtung, in meinen Augen vorzüglich vor derselben auszeichnete, war der Umstand, dafs

Digitized by Google

sie nicht, gleich jener, den Verlust der Lebenseigenschaften zu überdauern schien. Durch diesen Umstand erhielt die neue Erscheinung offenbar eine ungemeine Wichtigkeit. Die Vermuthung lag unabweisbar nahe, dafs dieselbe mit den uns bereits bekannten elektromotorischen Erscheinungen der Muskeln auf die eine oder die andere Art zusammenhänge, dafs sie vielleicht nichts sei als eine neue Bewegungserscheinung des Muskelstromes unter dem Einflusse fremder Stromeskräfte, wie wir dergleichen ja an den Nerven kennen gelernt haben. Zur näheren Untersuchung dieses Verhaltens schreiten wir also jetzt. Doch findet sich, dafs, ehe wir zu dieser Untersuchung selbst gelangen, noch eine lange Reihe vorbereitender Studien durchzumachen ist.

Die Gesammtheit der elektromotorischen Erscheinungen, welche in dem Folgenden als das Ergebnifs der Durchströmung der Muskeln und Nerven, sowie anderer thierischer und pflanzlicher Theile, ja sogar poröser feuchter Leiter nicht organischen Ursprungs, beschrieben werden sollen, mag übrigens mit dem Namen der secundär-elektromotorischen Erscheinungen umfafst werden.

2. Beschreibung der Versuchsweisen und Vorrichtungen.

(1) Von der Art, bei diesen Versuchen den erregenden Strom den thierischen Theilen zu- und den erregten davon abzuleiten.

Die älteren, so eben in Erinnerung gebrachten Ergebnisse wurden gewonnen, indem die Gliedmafsen zuerst wie gewöhnlich am Multiplicator für den Muskelstrom geprüft, dann von den Zuleitungsgefäfsen des Multiplicators auf die der Säule übertragen, und zuletzt zwischen die Multiplicatorenden in ihre frühere Lage gebracht wurden. Auch wird man, mit Hülfe dieser Versuchsweise, dieselben im Allgemeinen bestätigen können. Um jedoch diese Erscheinungen genauer zu verfolgen, mufsten feinere Hülfsmittel angewandt werden.

Erstens mufsten die Versuche, statt mit unförmlichen Gewebemassen, wie ein Froschschenkel sie darbietet, mit einzelnen Muskeln angestellt werden.

Sodann erwies es sich als unumgänglich nöthig, dafs die thierischen Theile, während sie vom erregenden Strom getroffen wurden, unverrückt im Multiplicatorkreise blieben. Es war nämlich oft zweifelhaft ob eine nach der Einwirkung des Stromes beobachtete Veränderung des elektromotorischen Verhaltens herrühre von dieser Einwirkung oder von veränderter Lage der thierischen Theile zwischen den Multiplicatorenden. Dazu mufsten diese Theile also nebst der beiderseits zunächst daran stofsenden Strecke feuchten Leiters beliebig zu einem Theile bald

Digitized by Google

des Multiplicatorkreises, bald der erregenden Kette gemacht werden können, ohne dafs im letzteren Fall eine Wirkung der Kette auf die Nadel anders bemerkbar wurde, als nachdem die thierischen Theile wieder Theil des Multiplicatorkreises geworden, in Folge der Einwirkung des Stromes auf dieselben. Dies suchte ich zuerst mit Hülfe der Fig. 150 Taf. VI. im Grundrifs schematisch dargestellten Anordnung zu erreichen.

Auf einer wohl isolirenden Unterlage sieht man in M, M_1 die gewöhnlichen Zuleitungsgefäfse des Multipticators $\mathfrak{M}$ nebeneinander so aufgestellt, dafs ihre Platinplatten nicht in einer Ebene liegen, sondern dafs das eine Gefäfs, M in der Zeichnung, eine gewisse Strecke hinter dem anderen M_1 zu stehen kommt. M und M_1 gegenüber und in gleicher Entfernung von beiden, befinden sich zwei ganz ähnliche Zuleitungsgefäfse S, S_1, in denen aber die Kochsalzlösung durch gesättigte schwefelsaure Kupferoxydlösung und die Platinplatten durch Kupferplatten ersetzt sind. Diese Gefäfse stellen die Enden der erregenden Kette $\mathfrak{S}$ dar, deren Beständigkeit dergestalt möglichst gesichert ist. Zinkplatten in gesättigter schwefelsaurer Zinkoxydlösung wären als Elektroden der Säule vielleicht insofern vorzuziehen gewesen, als die Polarisation mittelst derselben noch sicherer vermieden wird. Doch bietet die Kupferlösung vermöge ihrer Färbung den Vortheil dar, dafs man die Grenzen ihrer Verbreitung in Bäuschen, Röhren mit Flüssigkeit u. d. m. stets leicht erkennt und daher nie Gefahr läuft, durch unbemerkte Verunreinigungen mit derselben in die Irre geführt zu werden. Die vier Gefäfse sind mit Zuleitungsbäuschen der gewöhnlichen Art versehen, von denen die in S, S_1 tauchenden natürlich mit der Kupferlösung getränkt sind. Die Lücke zwischen dem Bausch in M und dem in S, und die zwischen dem in M_1 und dem in S_1, sind mit Hülfsbäuschen H, H_1 von der eigenthümlichen Gestalt überbrückt, die man in der Figur erkennt. Diese Bäusche, die ich die Querbäusche nennen will, sind mit Kochsalzlösung getränkt, und ruhen deshalb unmittelbar auf den ebendamit getränkten Zuleitungsbäuschen des Multiplicators in M und M_1 auf. Hingegen von den Zuleitungsbäuschen der Säule S und S_1 sind sie durch mehrere Lagen Fliefspapier getrennt, von denen die unteren an die Zuleitungsbäusche stofsenden mit schwefelsaurer Kupferoxydlösung, die oberen, an die Querbäusche stofsenden mit Kochsalzlösung getränkt sind. Diese Sicherheitsbäusche, wie ich sie nenne, verhindern, dafs die Zuleitungsbäusche und die Querbäusche einander verunreinigen, und müssen demgemäfs jedesmal erneut werden, wenn die Kupferlösung den mit der Salzlösung, und die Salzlösung den mit der Kupferlösung getränkten Bausch durchdrungen hat. Natürlich ist solche Einrichtung getroffen, dafs der durch die Sicher-

Digitized by Google

heitsbäusche bedingte Unterschied der Höhe der Unterlagen, auf denen die Querbäusche ruhen, auf irgend eine andere Art ausgeglichen wird.

Wie man sieht bieten die einander gegenüberstehenden Ränder *ab*, *cd* der Querbäusche, gehörig mit Eiweifshäutchen versehen, eine eben so bequeme Gelegenheit zum Auflegen thierischer Theile dar, als die vorderen Ränder der Zuleitungsbäusche bei der gewöhnlichen Gestalt unserer Vorrichtung, während die vorspringenden senkrechten Kanten derselben in anderen Fällen dienen können, um an senkrechte Flächen freischwebender Theile behufs der Erforschung ihrer elektromotorischen Kräfte angelegt zu werden. Dergestalt abgeleitete Theile würden, nebst den Querbäuschen, einen Theil entweder des Multiplicator- oder des Säulenkreises bilden, je nachdem der eine oder der andere dieser Kreise geschlossen ist.

Es fragt sich nun zunächst, ob es bei dieser Anordnung und bei offenem Multiplicatorkreise gelinge, den Strom durch die Bäusche und den dieselben verbindenden Schliefsungsbausch zu senden, ohne dafs ein Theil desselben in den Multiplicatorkreis einbreche, und ohne dafs, beim Schliefsen des Multiplicatorkreises unmittelbar nach Oeffnung des Säulenkreises, eine Wirkung auf die Nadel stattfinde.

Dies ist in der That der Fall. Bei den grofsen Stromstärken aber, und der grofsen Empfindlichkeit des Multiplicators die hier oft nothwendig sind, genügt es dazu nicht, einfach den einen Kreis während der Schliefsung des anderen an Einer Stelle zu öffnen. Alsdann würde im Fall der Schliefsung des Kettenkreises, wenigstens bei schlechter Leitung zwischen den Querbäuschen, eine Wirkung auf die Nadel stattfinden nach Art der oben Abth. I. S. 496 beschriebenen. Um diese sicher zu beseitigen, giebt es zwei Mittel. Erstens das oben ebendaselbst angegebene, den Multiplicator sowohl als die Säule auf das volkommenste zu isoliren. Zweitens, den Kreis nicht blos an Einer Stelle zu öffnen, sondern die beiden Zuleitungsgefäfse, die zu einem der beiden Kreise gehören, zugleich beziehlich vom Multiplicator oder von der Säule abzuschneiden, also in Fig. 150 z. B. den Multiplicatorkreis bei *e* und *f*, den Säulenkreis bei *g* und *h* zu unterbrechen.

Ich hatte, um ganz sicher zu gehen, beide Mittel zugleich in Anwendung gebracht, und es dadurch erlangt, dafs ich von den Gefäfsen S, S_1 aus den Strom einer fünfziggliedrigen Grove'schen Säule durch die Querbäusche und den sie verbindenden Schliefsungsbausch senden konnte, ohne dafs sich die leiseste Spur einer Nadelbewegung an dem, sonst zwischen den Gefäfsen M, M_1 befindlichen, zeitweise aber beiderseits von denselben abgeschnittenen Multiplicator für den Nervenstrom kundgab. Ebenso unbewegt blieb die Nadel, wenn alsdann plötzlich

Digitized by Google

der Kreis der Säule geöffnet und der des Multiplicators geschlossen wurde, zum Zeichen, dafs kein Theil des erregenden Stromes seinen Weg jenseits des die Querbäusche verbindenden Schliefsungsbausches durch die metallischen Multiplicatorenden fand, denn alsdann hätte sich in Folge der Ladung dieser Enden beim nachherigen Schliefsen des Multiplicatorkreises eine Wirkung auf die Nadel kundgeben müssen. Wäre, in Folge mangelhafter Isolation der beiden Gefäfse M, M_1, ein Stromzweig dergestalt über die Querbäusche hinaus durch die metallischen Multiplicatorenden gegangen, so würde der Schliefsungsbausch über den Querbäuschen begreiflich eine Nebenschliefsung von verhältnifsmäfsig geringem Widerstande abgegeben haben in Bezug auf jenen Stromzweig. Dieser Zweig, wenn er vorhanden war, mufste also an Stärke zunehmen, und der dadurch erzeugte Ladungsstrom in demselben Mafse wachsen, wenn während der Schliefsung des Säulenkreises bei geöffnetem Multiplicatorkreise der Schliefsungsbausch von den Querbäuschen entfernt, und erst bei Schliefsung des Multiplicatorkreises nach Oeffnung des Säulenkreises wieder über die Querbäusche gebreitet wurde. Allein auch bei dieser Versuchsweise blieb die Nadel des Multiplicators für den Nervenstrom selbst bei fünfzig Gliedern der Grove'schen Säule ganz unbewegt. Ich brauche nicht zu sagen, was sich von selbst versteht, dafs diese Proben auf die Brauchbarkeit der Vorrichtung nicht blos zu Anfang angestellt, sondern auch im Lauf der Versuche häufig wiederholt wurden.

So weit leistet also die Vorrichtung was sie soll. Sie erlaubt, Muskeln und Nerven dem erregenden Strom auszusetzen und die etwa erfolgenden secundär-elektromotorischen Wirkungen zu beobachten, ohne die thierischen Theile zwischen den Multiplicatorenden zu verrücken. Eine Bedingung für den Gebrauch der Vorrichtung ist jedoch, wie man leicht begreift, eine sehr vollkommene Gleichartigkeit des Multiplicatorkreises. Die Nichterfüllung dieser Bedingung zieht erhebliche Uebelstände nach sich.

Die Nadel, die alsdann während der Schliefsung des Kreises unter dem Einfluls des durch die Ladungen zum grofsen Theil aufgewogenen Stromes nahe dem Nullpunkte verharrt, geräth bei Oeffnung des Kreises in Schwingungen. Wenn also nicht entweder die Dauer der Oeffnung des Multiplicatorkreises so grofs ist, dafs die Nadel Zeit hat auf Null zurückzukehren; oder wenn nicht sowohl der im Multiplicatorkreise herrschende Strom als auch jene Dauer als beständig angenommen werden können, so wird, bei erneuter Schliefsung des Kreises, die Nadel im Allgemeinen sich nicht an derselben Stelle, vielmehr irgendwo anders und zwar in der einen oder der anderen Richtung bewegt vorfinden. Während der Oeffnung des Multiplicatorkreises zerstreut sich ferner, je

Digitized by Google

nach der Dauer derselben, ein gröfserer oder geringerer Theil der Ladungen. In dem Augenblick also, wo der Kreis wieder geschlossen wird, erfolgt, auch ohne dafs eine secundär-elektromotorische Wirkung stattfindet, ein Ausschlag, dessen Gröfse, bei gleicher Gröfse der im Kreise herrschenden elektromotorischen Kraft, abhängt von der Dauer der Oeffnung des Multiplicatorkreises.

Findet aber eine secundär-elektromotorische Wirkung statt, so summirt sich dieselbe zu der der dauernden Ungleichartigkeit. Wenn die letztere nur klein ist im Vergleich zur ersteren, so hat dies nicht viel zu sagen. Es wird nur der durch die secundär-elektromotorische Wirkung bei verschiedener Richtung des erregenden Stromes auf beiden Seiten erzeugte Ausschlag dadurch ungleich gemacht. Etwas anders ist es, wenn sich jenes Verhältnifs umkehrt, so dafs die secundär-elektromotorische Wirkung sich nur noch bemerkbar machen kann durch die Ungleichheit der Ausschläge, welche bei verschiedener Richtung des erregenden Stromes auf derselben Seite des Nullpunktes erfolgen. Alsdann wird die sichere Wahrnehmung dieser Wirkung begreiflich sehr erschwert. Dieselbe kann nur noch nachgewiesen werden unter der Voraussetzung einer vollkommenen Beständigkeit der dauernden Ungleichartigkeit des Multiplicatorkreises, indem man den erregenden Strom gleich lange Zeit bald in der einen bald in der anderen Richtung einwirken läfst, bald nur, bei Ausschlufs des Stromes, den Multiplicatorkreis eben so lange öffnet. Weicht die Gröfse des Ausschlages bei der einen Stromesrichtung von der bei Abwesenheit des Stromes ungefähr ebenso weit in dem einen Sinne ab, als in dem anderen bei der anderen Stromesrichtung, so kann man mit hinlänglicher Sicherheit auf das Vorhandensein einer secundär-elektromotorischen Wirkung in dem durch den Unterschied der Ausschläge angezeigten Sinne schliefsen.

Bei der geringen Beständigkeit der thierisch-elektrischen Ströme ergiebt sich hieraus die Nothwendigkeit, in den Fällen, wo nicht die secundär-elektromotorische Wirkung sich als eine ganz überwiegende im Vergleich zur dauernden herausstellt, entweder die thierischen Theile so auf den Querbäuschen zu lagern, dafs sie keinen Strom erzeugen, sie also z. B., bei regelmäfsig prismatischer Gestalt, die Bäusche mit symmetrisch zum elektromotorischen Aequator gelegenen Punkten berühren zu lassen, oder ihren Strom auf irgend eine Art durch einen fremden in den Multiplicatorkreis eingeführten, passend abgestuften Strom zu compensiren (S. oben Bd. I. S. 243 ff.). Das Nähere hierüber wird unten, bei Beschreibung der einzelnen Versuche, mitgetheilt werden. Uebrigens wird sich daselbst noch ein fernerer Grund ergeben, den ursprünglichen Muskelstrom so viel wie möglich aus dieser Anordnung zu verbannen.

Digitized by Google

Sodann mufs natürlich dafür gesorgt sein, dafs die zuleitende Vorrichtung des Multiplicators selber möglichst gleichartig sei; wo möglich so, dafs der Kreis mehrere Minuten lang offen gehalten werden könne, ohne dafs, bei seiner darauf folgenden Schliefsung, eine in Betracht kommende Wirkung entstehe. Bei der Anwendung des Multiplicators für den Nervenstrom, die uns hier oft nothwendig werden wird, fallen dergestalt diese Versuche freilich äufserst zeitraubend und mühsam aus, gleich allen, bei welchen es auf eine für diesen empfindlichen Stromprüfer ausreichende Gleichartigkeit ankommt. (S. oben Abth. I. S. 496.)

Doch giebt es einen Kunstgriff, welcher dienen kann, um, bei bestehender Ungleichartigkeit der Multiplicatorenden, die sichere Anstellung derartiger Versuche dennoch möglich zu machen, und der daher auch stets zu Hülfe zu nehmen ist, wenn es sich darum handelt, den Einfluſs der Einwirkung des Stromes während einer so langen Zeit zu beobachten, dafs während derselben nicht füglich auf die Erhaltung der Gleichartigkeit der Multiplicatorenden bei offenem Kreise zu rechnen sein würde. Dieser Kunstgriff besteht darin, eine solche Anordnung zu treffen, dafs man die Zuleitungsbäusche des Multiplicators von den Hülfsbäuschen entfernen kann, ohne dafs diese in ihrer Lage verrückt werden. Alsdann kann man den Multiplicatorkreis während der Dauer des Stromes geschlossen halten, und dadurch der Entwickelung allzu starker Ungleichartigkeiten vorbeugen.

Zu diesem Zweck ertheilt man der Vorrichtung eine solche Gestalt, dafs die Querbäusche, anstatt auf den Zuleitungsbäuschen der Säule und des Multiplicators zu ruhen, in gleicher Höhe mit denselben auf irgend eine Art frei aufgestellt sind. Z. B. es kann jeder derselben von einer länglich viereckigen Glasplatte getragen werden, die in die wagerechte Klemme eines allgemeinen Trägers eingespannt ist. (S. oben Bd. I. S. 448. Taf. III. Fig. 19) Die beiden Paar Zuleitungsgefäfse stehen auf gemeinschaftlicher Unterlage, und können, unabhängig von den feststehenden Querbäuschen, in einem Stück verschoben werden. Der beständige Abstand zwischen den Zuleitungsbäuschen der Säule und denen des Multiplicators ist etwas gröfser gewählt als die Breite der Querbäusche. Es können also entweder die Multiplicatorbäusche die Querbäusche berühren, und die Säulenbäusche davon getrennt sein, oder es kann das Entgegengesetzte der Fall sein. Diese beiden Anordnungen leisten dasselbe, was bei der vorigen in Fig. 150 dargestellten Form der Vorrichtung durch Schliefsung des einen, und Oeffnung des anderen Kreises an zwei Stellen erreicht wurde. Die beiden Unterbrechungsstellen jedes Kreises sind an die Grenze der Zuleitungsbäusche und der Querbäusche verlegt. Dies gewährt den Vortheil, der eben hier bezweckt

Digitized by Google

wird, während die Querbäusche von den Säulenbäuschen den Strom aufnehmen, von den Multiplicatorbäuschen aber getrennt sind, durch Ueberbrückung dieser letzteren mit dem Schliefsungsbausch den Multiplicatorkreis in sich geschlossen halten zu können bis zu dem Augenblick, wo die Einwirkung der Säule aufhören und ihr Einfluſs erforscht werden soll, wo man dann den Schliefsungsbausch abhebt und wieder die Multiplicatorbäusche gegen die Querbäusche schiebt, die Säulenbäusche aber gleichzeitig davon trennt. So beugt man der Entwicklung von Ungleichartigkeiten durch Freiwerden der Ladungen im Multiplicatorkreise während der Dauer des Säulenschlusses vor. Natürlich muſs man sich hüten, was übrigens durch die Beschaffenheit der Anordnung selbst erschwert ist, die Multiplicatorbäusche den Querbäuschen nicht zugleich mit den Säulenbäuschen anzulegen, da alsdann ein Theil des Säulenstromes seinen Weg durch den Multiplicatorkreis nehmen würde.

Vortheilhaft ist es, die gemeinschaftliche Unterlage, auf der die beiden Paar Zuleitungsgefäſse stehen, aus zwei Hälften anzufertigen, deren jede ein Paar Zuleitungsgefäſse trägt. Diese beiden Hälften können bald zu einem Stück verbunden in der eben beschriebenen Weise gehandhabt werden, bald kann man, wenn andere Versuchszwecke es verlangen, sie von einander lösen und alsdann jedes Paar Zuleitungsgefäſse für sich verschieben.

Gleichviel in welcher der beschriebenen Formen die Vorrichtung angewandt wird, man denke sich nun thierische Theile statt des Schliefsungsbausches über die Querbäusche gebrückt und eine Zeit lang, durch Schliefsen des Säulenkreises bei geöffnetem Multiplicatorkreise, dem erregenden Strom ausgesetzt, darauf durch Schliefsung des Multiplicatorkreises nach Oeffnung des Säulenkreises wieder in den ersteren Kreis aufgenommen. Es erfolge nunmehr eine Wirkung auf die Nadel, die, beim Ersetzen der thierischen Theile durch den Schliefsungsbausch, nach dem Obigen nicht erfolgt sein würde. Vom Standpunkt der bisherigen elektrischen Kenntniſs aus scheint es, als ob diese Wirkung nichts anderem zugeschrieben werden könne, als einer Einwirkung des erregenden Stromes auf die thierischen Theile, und daſs also auch in dieser Beziehung unsere jetzige Anordnung den oben gestellten Bedingungen Genüge leiste. Es wird sich indeſs bald zeigen, daſs dies nicht der Fall ist, und daſs hier im Gegentheil bisher noch unbekannte Wirkungen in's Spiel kommen, die berücksichtigt werden müssen, damit die Vorrichtung jenen Bedingungen entspreche. Zuvor jedoch wollen wir einem anderen Punkt unsere Aufmerksamkeit zuwenden.

Digitized by Google

(n) Beschreibung der Vorrichtung zur Beherrschung der Zeit, während der die thierischen Theile dem erregenden Strom ausgesetzt werden.

Die neuen elektromotorischen Wirkungen der thierischen Theile, die hier erforscht werden sollen, zeigen sich ihrer Stärke, ja, wie dies in der Folge klarer erhellen wird, ihrer Richtung nach in hohem Grade abhängig von der Dauer des Stromes, der sie hervorgerufen hat, und von der Frist, die man verstreichen läfst zwischen dem Aufhören des Stromes und der Wiederaufnahme der Theile in den Multiplicatorkreis. Aus dem Vorigen ergiebt sich ohnehin die Nothwendigkeit, der Oeffnung des Multiplicatorkreises in mehreren auf einander folgenden Versuchen mit grofser Genauigkeit gleiche Dauer ertheilen zu können (S. oben S. 385). Handelt es sich um verhältnifsmäfsig lange, einige Minuten bis eine Viertelstunde dauernde Schliefsung des Säulen-, und Oeffnung des Multiplicatorkreises, so kann man die bezüglichen Verrichtungen aus freier Hand vornehmen, indem die dabei begangenen Fehler, die sich bei einiger Uebung kaum auf ein paar Secunden belaufen werden, gegen jene Zeitdauer selber verschwinden.

Etwas anders ist es, wenn, wie es häufig vorkommt, die Einwirkung des Stromes selbst nur wenige Secunden, ja nur einen Bruchtheil einer Secunde, dauern soll. Die Zeit, welche man in den meisten Versuchen zwischen der Oeffnung des Säulen- und der Schliefsung des Multiplicatorkreises verstreichen läfst, bleibt stets innerhalb dieser Grenzen. Hier also entsteht das Bedürfnifs, die Dauer dieser beiden Fristen unabhängig zu machen von den Zufälligkeiten, die nicht zu vermeiden sind, wenn sie aus freier Hand abgemessen werden sollen. Es mufs das doppelte Schliefsen des einen und Oeffnen des anderen Kreises in gewissen Zeiträumen einer mechanischen Vorkehrung übergeben werden. Die in Fig. 151 A. Taf. VI perspectivisch dargestellte Vorrichtung habe ich dazu mit Hrn. Halske ersonnen, und verdanke ihm deren Ausführung.

Sie besteht aus zwei Theilen, erstens der Wippe, welche die Schliefsung von dem einen auf den anderen Kreis überträgt, nebst den Federn, die die Enden der geöffneten Kreise vorstellen und an welche die Wippe sich anlegt; und zweitens dem Mechanismus, welcher die Stellung der Wippe zur gegebenen Zeit ändert.

In zwei auf ein Brett geschraubten Winkelstücken dreht sich eine wagerechte Axe, welche zwei Glasstäbe in einiger Entfernung von einander senkrecht emporträgt. Jeder der beiden Glasstäbe trägt einen der Axe parallelen Messingstab. Die beiden Enden jedes der Messingstäbe sind von stumpf zugespitzten Platinstiften in wagerechter Richtung, aber

Digitized by Google

senkrecht auf den Messingstab, durchbohrt. Die Spitzen der Platinstifte ragen zu beiden Seiten des Messingstabes ein wenig hervor, und die vier auf einer und derselben Seite beider Messingstäbe befindlichen, zu zweien durch den Messingstab leitend verbundenen Platinspitzen liegen in einer wagerechten und der Axe parallelen Geraden. Den acht Platinspitzen auf beiden Seiten der zwei Messingstäbe gegenüber, und in gleicher Entfernung von denselben, tragen acht Glasstäbe mittelst Hülsen, die mit Klemmschrauben zur Befestigung von Drähten versehen sind, acht Contactfedern von der in der Figur sichtbaren Gestalt empor. Die Federn sind von Neusilber, nur auf die den Platinspitzen gegenüber liegende Stelle ihrer Fläche ist ein Platinplättchen gelöthet. Vier von denselben, auf der einen Seite der Messingstäbe gelegen, stellen die vier Enden des an zwei Stellen unterbrochenen Multiplicatorkreises vor. Ebenso die vier anderen Contactfedern, auf der anderen Seite der Messingstäbe gelegen, die vier Enden des gleichfalls an zwei Stellen unterbrochenen Säulenkreises. Bei einer Drehung der Axe um einen kleinen Winkel nach der einen Richtung schliefsen die Messingstäbe, indem sie die vier Platinspitzen dieser Seite an die vier entsprechenden Platinplatten drücken, die beiden Unterbrechungen im Multiplicatorkreise. Ebenso bei einer Drehung der Axe um einen kleinen Winkel nach der anderen Richtung schliefsen die Messingstäbe, indem sie die vier Platinspitzen der anderen Seite an die vier anderen Platinplatten drücken, die beiden Unterbrechungen im Säulenkreise. Es handelt sich also nur noch darum, dafs sich die Wippe in der einen oder der anderen Richtung von selbst zu gegebener Zeit bewege.

Zu diesem Behuf geht von der Mitte der Axe nach unten ein kurzer Hebelarm, der übrigens mit einem Laufgewicht zum Aufwiegen des oberen Theiles der Wippe beschwert ist. An dem unteren Ende des Hebels ist in seiner Drehungsebene eine wagerechte Stahlstange eingelenkt, welche durch zwei auf das Brett geschraubte, passend durchbohrte Winkelstücke geführt wird. Jenseits des ersten Winkelstückes von der Wippe aus ist die Stahlstange von einer Spiralfeder umgeben, welche, indem sie sich einerseits auf das Winkelstück, andererseits auf einen an der Stange festgeschraubten Ring stützt, letztere in der durch den Pfeil in der Figur angegebenen Richtung zu treiben strebt. Die Feder hält dadurch die Wippe, wie sie in der Figur abgebildet ist, dauernd gegen die eine Reihe von Contactfedern gepreſst. Es ist dies die Reihe, welche die vier Enden des doppelt unterbrochenen Multiplicatorkreises enthält, und es ist somit dieser Kreis für gewöhnlich durch die Wippe geschlossen.

Das freie Ende der Stange drückt dabei, mit einem sehr geringen

Digitized by Google

Ueberschufs der Kraft der Spiralfeder über die vereinten Kräfte der vier Contactfedern, gegen den Rand einer bis auf ein gewisses Stück ihres Umfanges kreisrunden Messingscheibe, welche an die Anschlagscheiben am Reifswerk der Theilmaschinen erinnert. Diese Scheibe steckt, durch eine vorgeschraubte Mutter befestigt, an der verlängerten Axe des vorletzten Zahnrades eines aus einer Carcel-Lampe entlehnten Laufwerkes, welches auf dem Brett festgeschraubt ist. In der Zeichnung ist dasselbe weggelassen. Der Gang des Laufwerkes, welches durch einen passend angebrachten Hebel ausgelöst und gehemmt werden kann, wird durch Windflügel so geregelt, dafs es bereits wenige Secunden nach dem Auslösen eine beständige Geschwindigkeit hat. Dabei vollzieht die betreffende Axe einen Umgang sehr nahe in 24″ in der durch den Pfeil angezeigten Richtung.

So lange das Laufwerk stillsteht, oder so lange, während seines Ganges, das Ende der Stahlstange ruhig auf dem kreisförmigen Umfange der sich drehenden Scheibe schleift, behält die Wippe ihre Stellung bei, und bleibt folglich der Multiplicatorkreis geschlossen. Allein der Rand der Scheibe trägt an einer Stelle einen Vorsprung, der auf der Seite, nach der sich die Scheibe dreht, sanft ansteigt bis zu einer gewissen Höhe, auf der anderen Seite radial abgeschnitten, steil abstürzt. Dazwischen verharrt er auf gleicher Höhe und hat also daselbst einen dem übrigen Umfang der Scheibe concentrischen, kreisförmigen Rand. Man sieht leicht, dafs bei fortschreitender Drehung der Scheibe der Vorsprung vermöge seiner allmäligen Steigung die Stahlstange in dem der Wirkungsrichtung der Spiralfeder entgegengesetzten Sinne treiben wird. Sobald dies geschieht, lösen sich die vier Platinspitzen der Wippe von den vier Platinplatten, gegen die sie gewöhnlich drücken, und der Multiplicatorkreis ist doppelt unterbrochen. Es ist aber die Höhe des Vorsprunges über dem Rande der Scheibe im Verein mit den Längen des unteren Hebelarmes und der oberen Glasstäbe der Wippe so abgemessen, dafs, wenn der Vorsprung sich mit seiner ganzen Höhe unter das Ende der Stahlstange gedrängt hat, die Wippe sich mit ihren vier anderen Platinspitzen gegen die andere Reihe von Platinplatten legt, die die vier Enden des bis dahin doppelt unterbrochenen Säulenkreises enthalten. Dieser wird also, bei doppelt unterbrochenem Multiplicatorkreise, geschlossen, und bleibt es so lange als das Ende der Stahlstange auf dem kreisförmigen Rande des Vorsprunges schleift. Sobald aber die Stange, an dem hinteren steilen Ende des Vorsprunges angelangt, durch den Druck der Spiralfeder wieder gegen den Rand der Scheibe geschnellt wird, öffnet sich doppelt der Säulen- und schliefst sich wieder der Multiplicatorkreis.

Digitized by Google

Die erste Bewegung der Wippe, wodurch die Schliefsung von dem Multiplicatorkreise auf den Säulenkreis übertragen wird, geschieht allmälig und, wegen der geleisteten Arbeit, mit merklicher Verlangsamung der Windflügel; auf die Verkürzung dieses Zeitraumes kam es aber auch nicht an, wenn nur seine Dauer beständig war. Hingegen die Schliefsung des Multiplicatorkreises nach Oeffnung des Säulenkreises mufs, wenn man sie nicht absichtlich zu verzögern wünscht, so schnell wie möglich geschehen. Dies wurde dadurch erreicht, dafs das auf dem Umfang der Scheibe schleifende Ende des cylindrischen Stahlstabes schräg abgeschliffen war und dafs die untere Berührungsebene des Stabes durch den Mittelpunkt der Scheibe ging. Die Fig. 152 A macht es deutlich, wie alsdann der Stab, sobald er den radialen Absturz des Vorsprunges erreicht hatte, mit der vollen Kraft der Spiralfeder, anfangs noch unterstützt durch die der vier Contactfedern des Säulenkreises, auf den Rand der Scheibe zurückfallen mufste, was noch den Vortheil bot, dafs die Schliefsung des Multiplicatorkreises stets sicher bewerkstelligt wurde.

Auf diese Art gelingt es demnach, die Zeit, während der die thierischen Theile dem Strom ausgesetzt werden, so gleich zu machen, als es die Vollkommenheit des angewandten Mechanismus gestattet. Um sie innerhalb der Grenzen, die durch die Umlaufszeit der Scheibe gesteckt sind, zu verändern, braucht man nur Scheiben auf die Axe zu stecken, an denen der Vorsprung, d. h. natürlich der kreisförmig gebogene Theil desselben, verschiedene Länge hat. Ich besafs solcher Scheiben fünf. Die Längen des Vorsprunges daran betrugen $^1/_{24}$, $^5/_{24}$, $^{10}/_{24}$, $^{15}/_{24}$ und $^{20}/_{24}$ eines Kreises, und die Scheiben hielten demgemäfs den Säulenkreis 1, 5, 10, 15 und 20 Secunden lang geschlossen. In der Figur sieht man die Fünfsecundenscheibe auf die Axe gesteckt. Fig. 152 A stellt dieselbe nochmals in seitlicher Ansicht und natürlicher Gröfse vor.

Zum Zweck einiger Versuche, in denen eine noch geringere Dauer des Säulenschlusses beabsichtigt wurde, hatte ich auch noch eine Scheibe, deren Vorsprung gar keine merkliche Länge besafs, so dafs die Schliefsung des Säulenkreises nur einen kleinen Bruchtheil einer Secunde dauern konnte. Zur genaueren Bestimmung dieses Bruchtheiles übrigens fehlten die Mittel. Diese Scheibe wird im Folgenden die $^1/_n$"-Scheibe genannt werden. Eine weitere Abänderung der Vorrichtung, um noch kürzer dauernde Schliefsung der Säule zu erzielen, findet sich unten beschrieben.

Sollte die Einwirkung des Stromes länger dauern als 20", ohne dafs gleichwohl der Vorrichtung die zweite oben S. 387 beschriebene Form ertheilt wurde, so mufste das Uhrwerk, während die Spitze der

Digitized by Google

Stahlstange auf dem Vorsprung ruhte, angehalten und nach der Secundenuhr zur rechten Zeit wieder ausgelöst werden.

Die Dauer der Einwirkung des Stromes auf die thierischen Theile war dergestalt in den meisten Fällen mit genügender Sicherheit zu beherrschen. Mittelst einer geringfügigen Abänderung der Scheiben ist es aber auch zu bewerkstelligen, dafs die Zeit, welche zwischen dem Oeffnen des Säulen- und dem Schliefsen des Multiplicatorkreises verstreicht, innerhalb der Grenzen, die durch die Umlaufszeit der Scheibe gesteckt sind, ebenso beliebig verändert werden könne. Zu diesem Zweck dienen Scheiben von der Fig. 152 B dargestellten Art, an denen nämlich das hintere Ende des Vorsprunges nicht sogleich bis auf den Rand der Scheibe, sondern nur bis zur Hälfte dieser Tiefe radial abstürzt, so dafs auf den ersten Vorsprung ein zweiter von nur der halben Höhe jenes und von verschiedener Länge an verschiedenen Scheiben folgt. Dies bewirkt, dafs die Wippe, anstatt plötzlich durch die Spiralfeder aus der Stellung, in der sie die Säule schliefst, in die Stellung, in der sie den Multiplicator schliefst, geworfen zu werden, halbwegs stehen bleibt, und beide Kreise so lange offen läfst, bis auch der zweite Vorsprung durch die Drehung der Scheibe unter der Spitze der Stahlstange fortgeführt worden ist. Solcher Scheiben hatte ich zu jeder der oben beschriebenen Scheiben so viel von immer um $^{5}/_{4}$ des Kreisumfanges wachsender Länge des zweiten Vorsprungs, oder um fünf Secunden wachsender Dauer der dadurch bewirkten Verzögerung der Schliefsung des Multiplicatorkreises, als die Umlaufszeit der Scheiben gestattete. Die 20″ lang die Säule schliefsende Scheibe liefs diese Einrichtung gar nicht zu. Dagegen hatte ich zwei 15″-Scheiben, die eine sogleich, die andere erst nach 5″ den Multiplicatorkreis schliefsend; drei 10″-Scheiben, mit den Verzögerungen 0′, 5″, 10″; vier 5″-Scheiben, mit den Verzögerungen 0′, 5″, 10″, 15″, und endlich fünf 1″-Scheiben mit den Verzögerungen 0′, 5″, 10″, 15″, 20″, im Ganzen funfzehn Scheiben. Die in Fig. 152 B dargestellte Scheibe ist die 5″-Scheibe mit der 5″-Verzögerung.

Ich brauche nicht zu erwähnen, dafs ich von diesen Vorkehrungen keinesweges eine grofse Genauigkeit der Zeitbestimmung erwartete. Erstens war die Umlaufszeit der Scheiben mit längeren Vorsprüngen, vorzüglich solchen zum Schlufs der Säule bestimmten von voller Höhe, merklich gröfser als die der Scheiben mit kürzeren Vorsprüngen, wegen der vermehrten Reibung der Stahlstange am Umfang der Scheibe. Zweitens fiel zwar der Augenblick der Oeffnung des Säulen- und Schliefsung des Multiplicatorkreises, vermöge der schnellen Bewegung der Wippe in diesem Act, hinreichend genau zusammen mit dem, wo die Spitze der Stahlstange das Ende des Vorsprungs erreichte. Dagegen war die lang-

Digitized by Google

same Uebertragung der Schliefsung vom Multiplicator auf den Säulenkreis aus verschiedenen Gründen, unter denen ich nur das Zittern der Contactfedern erwähnen will, gröfseren Ungenauigkeiten ausgesetzt. Namentlich bei den ganz kurzen Vorsprüngen an der $^1/_n$- und 1″-Scheibe, wo die Dauer des Schliefsungsactes nicht mehr klein war gegen die des Schlusses, machten sich Fehler der Art bemerklich. Endlich war wohl auch nicht einmal die Geschwindigkeit des Laufwerkes eine ganz gleichförmige. Weder also mafs die Vorrichtung richtig die vorgeschriebenen Zeiträume, noch beging sie, beim Messen derselben, stets denselben Fehler. Glücklicherweise indefs, oder vielmehr leider kam es hier auf eine solche Genauigkeit in den allermeisten Fällen noch gar nicht an. Die dergestalt etwa herbeigeführten Unsicherheiten des Erfolges verschwinden gänzlich gegen die Schwankungen, welche durch die Ungleichmäfsigkeit in den Leistungen der thierischen Theile selber bedingt sind.

Man könnte noch eine Einwendung gegen die beschriebene Anordnung machen. Es ist nämlich zu bemerken, dafs der Strom der Säule, indem er von einer Feder zur anderen durch die zugehörigen Platinspitzen und den Messingarm geht, in umgekehrter Ordnung die Reihe einander berührender Metalle, Neusilber, Loth, Platin, Messing, durchläuft, und nach Peltier's Entdeckung[1] daher das eine Mal eine Temperaturerhöhung, das andere eine Temperaturerniedrigung hervorbringen mufs. Die beiden Enden eines jeden Messingstabes gelangen folglich nach Oeffnung des Säulenkreises in die Lage, in der sie den Multiplicatorkreis schliefsen, mit einer verschiedenen Temperatur, und müssen in diesem Kreise einen Thermostrom in umgekehrter Richtung von der des Stromes der Säule erzeugen, theils durch den bereits vorhandenen Temperaturunterschied der beiden Berührungsstellen zwischen Messing und Platin, theils durch den erst durch Mittheilung entstehenden der beiden Löthstellen zwischen Platin und Neusilber. Da nun früher gezeigt wurde, dafs selbst schwache Thermoströme metallischen Ursprungs am Multiplicator für den Nervenstrom, bei Gegenwart der Zuleitungsgefäfse im Kreise, noch bemerkbar sind (S. oben S. 200), so könnte man dem Bedenken Raum geben, ob nicht hier, durch den angegebenen Umstand, Täuschungen veranlafst werden könnten.

Man sieht indefs erstens, dafs man leicht eine Anordnung treffen

[1] Annales de Chimie et de Physique. Août. 1834. t. LVI. p. 371;* — Poggendorff's Annalen u. s. w. 1838. Bd. XLIII. S. 324.* — Lenz, ebendaselbst Bd. XLIV. S. 342*. — Moser in Dove und Moser, Repertorium der Physik. 1837. Bd. I. S. 349.* — Helmholtz, Ueber Erhaltung der Kraft. Berlin 1848. S. 58*. — v. Quintus-Icilius in Poggendorff's Annalen u. s. w. 1853. Bd. LIII. S. 377.*

Digitized by Google

kann, bei der sich die beiden thermoëlektrischen Wirkungen, die durch die beiden Messingstäbe im Multiplicatorkreise erzeugt werden, entgegen gerichtet sind, und sich folglich, da sie sehr nahe gleich sein dürften, aufheben.

Zweitens sind allem Vermuthen nach diese thermoëlektrischen Wirkungen denn doch zu schwach, um eine merkliche Störung in unseren Versuchen hervorzubringen. Dies zeigt denn auch der Versuch ganz unmittelbar. Ich liefs, aus dem Multiplicator- sowohl als aus dem Säulenkreise, die Zuleitungsgefäfse fort, indem ich die zu denselben führenden Drähte durch Klemmen verband. Der Widerstand beider Kreise war also sehr verkleinert. Dann brachte ich in den Säulenkreis eine dreifsiggliedrige Grove'sche Säule, aus kleinen Zellen von der oben Bd. I. S. 446 beschriebenen Art bestehend, wie sie in der Folge meist wird angewendet werden. Dabei fand keine für das Gefühl bemerkbare Erwärmung der Federn statt. In anderen Versuchen ersetzte ich die Säule durch eine einzige Grove'sche Kette der gröfseren, ebendaselbst beschriebenen Art, welche eine sehr merkliche Erwärmung der Federn erzeugte. Ich liefs den Säulenkreis eine Zeit lang geschlossen, so dafs ich annehmen konnte, dafs das dynamische Gleichgewicht der Temperaturen sich hergestellt habe. Dann liefs ich die Wippe plötzlich den Multiplicatorkreis schliefsen. Die Anordnung war so, dafs die beiden etwa erzeugten thermoëlektrischen Wirkungen sich nicht von einander abzogen, sondern sich summirten. In keinem Fall indefs fand eine irgend merkliche Bewegung der Nadel statt. Da nun die Umstände dieser Versuche dem Erscheinen einer solchen aufserordentlich viel günstiger waren als die, unter denen wir später unsere Beobachtungen anstellen werden, so ist klar, dafs die ausgesprochene Befürchtung des Grundes entbehrt.

(III) Von der anzuwendenden elektromotorischen Vorrichtung.

Wir werden im Folgenden nicht selten gröfserer elektromotorischer Kräfte bedürfen, als wir sie irgend bisher angewandt haben. Zu diesem Zweck stellte mir die Königliche Akademie der Wissenschaften, noch ehe ich die Ehre hatte, ihr anzugehören, auf meine Bitte eine hundertgliedrige Daniell'sche Säule aus der Fabrik der Herren Siemens und Halske zur Verfügung. Nachdem ich indefs einige Zeit mit dieser Säule gearbeitet hatte, zog ich es vor, zum Gebrauch der Grove'schen Kette zurückzukehren, und vermehrte die Zahl der in meinem Besitz befindlichen Elemente der kleineren oben Bd. I. S. 446 beschriebenen Art bis auf einige sechzig, von denen aber nur ausnahmsweise mehr als funfzig zu gleicher

Digitized by Google

Zeit zur Säule vereinigt wurden. Was mich dazu bewog, war erstens die durch den Kupferniederschlag auf dem Zink, in Folge des Eindringens der Kupferlösung in die Zinkzelle, bedingte rasche Wirkungsabnahme der Daniell'schen Säule, vermöge der sie in der That nur theoretisch den Namen einer beständigen Kette verdient. Zweitens die Mühseligkeit der Handhabung einer solchen Säule, die hervorgeht einmal aus der Nothwendigkeit, nach jedesmaligem Gebrauch die Zinkcylinder mittelst einer Bürste von jenem Niederschlage zu befreien, dann aber auch aus der Gröfse der zur Speisung und Reinigung der Säule erforderlichen Flüssigkeitsmassen, die nicht vermindert werden können, weil durch die verhältnifsmäfsig geringe elektromotorische Kraft und Leitungsfähigkeit der Daniell'schen Kette die Anwendung einer grofsen Gliederzahl von grofsen Mafsen bedingt wird. Durch diesen Umstand wird, wenn man zur Vollziehung solcher Dienstleistungen auf sich selber angewiesen ist, ein so bedeutender Verlust an Zeit und Spannkräften herbeigeführt, dafs man sich ihm vernünftigerweise nur unterziehen kann, wenn man eine lange Reihe ungestörter Arbeitsstunden vor sich sieht, die ja die Säule selber, ihrer Unbeständigkeit halber, nicht gewährt.

Meine fünfziggliedrige Grove'sche Säule kann, wenn Alles in guter Ordnung ist, bei einiger Uebung leicht in etwa 20′ zusammengesetzt, in der Hälfte der Zeit auseinandergenommen werden. Sie erfordert an Salpetersäure nicht mehr als etwa das Volum von 16 Unzen oder einem halben Liter Wasser. Da aber die Säule bei den folgenden Versuchen nur selten längere Zeit und fast stets nur durch sehr schlechte Leiter geschlossen wird, so ist trotz dieser geringen Menge von Flüssigkeit ein Erschöpfen derselben im Lauf der Versuche doch nicht zu befürchten. Der verdünnten Schwefelsäure gebe ich nur eine Dichte von 1.035, entsprechend etwa einem Theil ersten Hydrates auf 20 Theile Flüssigkeit. Ein Glasgehäuse hindert die Verbreitung der salpetrigsauren Dämpfe. Je zehn Glieder endigen an Klemmschrauben am Gehäuse, so dafs man, ohne es zu öffnen, die Zahl der Glieder beliebig um zehn, zwanzig u. s. w. vermehren oder vermindern kann. Um eine ganz beliebige Anzahl von Gliedern bis fünfzig in den Kreis zu nehmen, dient eine überzählige Platinplatte, die Wanderplatte, die man in den Thontrog eines beliebigen Gliedes stellen und von ihr den Strom mittelst eines zum Gehäuse hinausgeführten Drahtes ableiten kann. (Vergl. oben Abth. I. S. 334.) Meine Säule bietet sonst keine Eigenthümlichkeit dar, aufser dafs ich es zweckmäfsig fand, die Aufsenseite sämmtlicher Zinke, nachdem sie zum ersten Mal verquickt worden, mit Bernsteinlack, der mit Kienrufs schwarz gefärbt ist, zu bestreichen. Die Kosten und die Mühe der folgenden Verquickungen sind dadurch um die Hälfte ver-

Digitized by Google

mindert, und wegen der Beseitigung der örtlichen Wirkung ist die Dauer der Zinke und der verdünnten Schwefelsäure ohne Zweifel vergrößert, ohne daſs ein Verlust an Stromstärke bemerkbar würde.[1]

Die Säule stand auf einem Isolirschemel. (S. oben S. 384.) Auf demselben befand sich auch noch, um ein ungefähres Maſs der Stromstärke abzugeben, ein Galvanoskop mit senkrechter Nadel von Siemens und Halske, wie sie bei der elektrischen Telegraphie gebraucht werden, und, um den Strom der Säule umzukehren, der gewöhnliche Pohl'sche Stromwender. Es war die Einrichtung getroffen, daſs der Sinn, in dem die Wippe des Stromwenders umgelegt und die Nadel des Galvanoskops abgelenkt war, unmittelbar denjenigen anzeigte, in dem das beobachtete Ende der Nadel abweichen muſste, wenn der Durchgang des erregenden Stromes durch die Querbäusche und den sie verbindenden Leiter eine jenem Strome gleichgerichtete secundär-elektromotorische Wirkung hinterlieſs.

Eine solche Wirkung soll übrigens in dem Folgenden, der Kürze halber, als positiv, eine in entgegengesetzter Richtung als negativ bezeichnet werden. Diese Ausdrücke erhalten also, auf secundär-elektromotorische Wirkungen von Muskeln und Nerven angewandt, in diesem Paragraphen einen anderen Sinn, als sie sonst in diesen Untersuchungen haben, wo sie, wie man weiſs, beziehlich die Stromesrichtung vom Längs- zum Querschnitt und vom Quer- zum Längsschnitt im angelegten Bogen bezeichnen.

Bei sehr starken Strömen, wie sie hier manchmal angewandt werden muſsten, z. B. wenn die 30—50gliedrige Grove'sche Säule durch kurze, dicke und mit gutleitenden Flüssigkeiten gefüllte Röhren geschlossen war, ereignete es sich beiläufig, daſs die Nadel des Vertical-Galvanoskops die Richtung des Stromes nicht mehr angab, sondern doppelsinnige Ablenkung zeigte, d. h. sie wurde stets nach der Seite weiter abgelenkt, nach der sie bereits abgelenkt war, indem der Strom zuerst die Nadel in dem Sinne magnetisirte, der seiner Richtung entsprach.[2]

Bei einigen Gelegenheiten wurden übrigens auch noch feinere strommessende Vorrichtungen in den Kreis der Säule aufgenommen.

[1] Dieser Kunstgriff ist neuerdings auch von Callan empfohlen worden. Philosophical Magazine etc. 4. Series. vol. IX. April 1855. p. 260;* — Archives des Sciences physiques et naturelles. Juin 1855. t. XXIX. p. 153;* — Cosmos. Revue encyclopédique hebdomadaire des progrès des Sciences etc. Par M. l'Abbé Moigno. 4e Année. 6e Volume. 15e Livraison. 13 Avril 1855. p. 408.*

[2] S. Poggendorff in seinen Annalen u. s. w. 1838. Bd. XLV. S. 365. 370.*

Digitized by Google

3. Von der Polarisation an der Grenze ungleichartiger Elektrolyte.

(1) Erste Wahrnehmung einer scheinbaren Polarisation an durchströmten Bäuschen.

Es ist oben S. 388 gesagt worden, dafs, wenn ein Strom durch die Querbäusche und den mit Salzlösung getränkten Schliefsungsbausch gesandt worden ist, bei nochmaliger Schliefsung des Multiplicatorkreises keine Wirkung auf die Nadel bemerkbar wird, dafs aber nichtsdestoweniger eine Wirkung, die nach Ersetzung des Schliefsungsbausches durch thierische Theile unter denselben Umständen sich kundgebe, noch nicht unbedingt einer Einwirkung des Stromes auf die thierischen Theile zuzuschreiben sei. Diese Einschränkung, die uns alsbald noch zu einer wichtigen Abänderung unserer Vorrichtung zwingen wird, beruht darauf, dafs keineswegs, wie man nach dem bisherigen Stand unserer Kenntnisse vermuthen sollte, alle feuchten Leiter statt des Schliefsungsbausches zwischen die Querbäusche gebracht, sich nach dem Durchgang des Stromes, gleich dem Schliefsungsbausch, elektromotorisch unwirksam verhalten. Vielmehr zeigt es sich, dafs dies vermuthlich nur der Fall für den mit Kochsalzlösung getränkten Bausch ist. Sobald der Bausch mit einer anderen Flüssigkeit getränkt ist, scheint die Folge des Stromes eine vorübergehende elektromotorische Wirkung im einen oder im anderen Sinne, bei einigen Flüssigkeiten auch erst in dem einen, und dann in dem anderen Sinne, zu sein; zwar nur von geringer Stärke, doch so, dafs sie bei Versuchen wie den unsrigen alle Beachtung verdient.

In den nachstehenden Versuchen wurden stets balkenförmige Fliefspapierbäusche von 50 mm Länge und etwa 120 Quadratmillimeter Querschnitt der Wirkung des Stromes ausgesetzt. Die Querbäusche wurden durch Sicherheitsbäusche vor Verunreinigung mit den ungleichartigen Flüssigkeiten geschützt. Nachdem der Multiplicatorkreis gleichartig geworden, was bei den angewandten Flüssigkeiten meist leicht geschah, wurden dreifsig Glieder der Grove'schen Säule 5″ lang durch die Querbäusche und den sie verbindenden Bausch geschlossen. Unmittelbar darauf wurde das System von Bäuschen in den Kreis des Multiplicators für den Nervenstrom aufgenommen, der Erfolg an der Nadel beobachtet, und der Versuch mit Umkehr des Stromes wiederholt, um den Einfluſs einer etwa im Multiplicatorkreise dauernd gegenwärtigen elektromotorischen Kraft aufser Spiel zu bringen. (S. oben S. 386.) Folgendes war das Ergebnifs der oft wiederholten Versuche.

Digitized by Google

1. Schwefelsäure zu Brunnenwasser :: 1 : 4 und 1 : 8 dem Volum nach, beziehlich von 1.22 und 1.18 Dichte. Heftiges Anschlagen an die negative Hemmung.
2. Gemeine Salpetersäure. Anschlagen an die negative Hemmung.
3. Chlorwasserstoffsäure. Schwache negative Wirkung.
4. Concentrirte Kalihydratlösung. Anschlagen an die positive Hemmung.
5. Ammoniakflüssigkeit. Starke negative Wirkung.
6. Gesättigte Salpeterlösung. Sehr schwache negative Wirkung.
7. Gesättigte schwefelsaure Kupferoxydlösung. Sehr schwacher negativer Ausschlag, dem ein stärkerer positiver Rückschwung folgt.
8. Brunnenwasser.
9. Destillirtes Wasser.

   } Sehr starker negativer Ausschlag, dem ein stärkerer positiver Rückschwung folgt.

10. Hühnereiweifs. Starke negative Wirkung.

Als ich zuerst auf die doppelsinnigen Wirkungen stiefs, die die drei Flüssigkeiten 7. 8. 9. gaben, glaubte ich, dafs der starke positive Rückschwung nach dem negativen Ausschlage vielleicht nur daher rühre, dafs der secundäre Strom in entgegengesetzter Richtung des ursprünglichen sehr schnell verschwinde, so dafs die Ladungen, die er auf den metallischen Multiplicatorenden entwickelte, plötzlich in aller Stärke freigeworden, sich mit den die Nadel einlenkenden Kräften zu einer so starken Wirkung auf dieselbe verbänden, während sonst, bei langsamerer Abnahme des secundären Stromes, die Gleichgewichtslage, um die die Nadel schwingt, allmälig dem Nullpunkt näher rücke.

Eine aufmerksame Betrachtung des ersten Rückschwunges bei den anderen Flüssigkeiten zeigte, dafs auch hier sehr bedeutende Unterschiede seiner Gröfse stattfinden, so dafs bei den einen Flüssigkeiten die rückschwingende Nadel in dem Quadranten bleibt, in den der Ausschlag sie geführt hat, bei einer anderen den Nullpunkt erreicht, bei einer dritten noch ziemlich weit darüber hinaus geht. Dafs diese letztere Erscheinung auf der schnelleren und langsameren Abnahme des secundären Stromes beruhe, ist nicht zu bezweifeln. Allein für die oben als doppelsinnig bezeichneten Wirkungen ist diese Erklärung nicht richtig. Das Mifsverhältnifs des ersten Ausschlages und des Rückschwunges wird häufig zu beträchtlich, um dieselbe noch füglich zuzulassen. Z. B. beim Versuch mit Wasser bewegt sich die Nadel innerhalb der Grenzen $-20° + 87°$; beim Versuch mit dem schwefelsauren Kupferoxyd innerhalb der Grenzen $-3° + 9°$ u. s. w.

Demgemäfs gelingt es denn auch, das Umschlagen der durch den

Digitized by Google

Strom der Säule in dem Bausch erzeugten elektromotorischen Kraft aus der negativen in die positive Richtung in jenen Fällen wirklich nachzuweisen. Es genügt dazu, zwischen Oeffnung des Säulen- und Schliefsung des Multiplicatorkreises einige Zeit verstreichen zu lassen, was mit Hülfe der oben S. 393 beschriebenen Verzögerungsscheiben bewerkstelligt wird. Bei dieser Versuchsweise gaben die drei erwähnten Flüssigkeiten nunmehr rein positive Ausschläge, die Ausschläge mit den übrigen Flüssigkeiten erschienen nach wie vor beziehlich rein negativ und positiv (Kalihydratlösung), übrigens aber sehr geschwächt.

Hieraus ergiebt sich nun sogleich weiter, dafs diese Wirkungen sehr vergänglich sind. Sie müssen verhältnifsmäfsig schon sehr kräftig sein, d. h. bei nicht verzögerter Schliefsung des Multiplicator- nach Oeffnung des Säulenkreises die Nadel an die Hemmung führen, wenn nach Verlauf von 10″ noch ein merklicher Ausschlag erfolgen soll. Ob die Wirkungen längere Zeit anhielten, wenn der Multiplicatorkreis offen, als wenn er geschlossen war, wurde nicht beobachtet.

Die Stärke der Wirkungen wuchs im Allgemeinen rasch mit der Dauer der Durchströmung. In einzelnen Fällen jedoch zog die Vergröfserung dieser Dauer noch eine andere Folge nach sich. Bei längerer Durchströmung des mit schwefelsaurer Kupferoxydlösung und des mit Brunnenwasser getränkten Bausches nämlich sieht man den negativen Vorschlag erst abnehmen, dann sich nur noch durch ein Zögern der Nadel auf dem Nullpunkt verrathen, endlich bei mehrere Minuten lang dauerndem Säulenschlusse ganz verschwinden, und den positiven Ausschlag dem entsprechend erst stärker hervortreten, zuletzt auch hier ganz rein und zwar in grofser Stärke erscheinen. Beim destillirten Wasser ist dies nicht der Fall. Der negative Vorschlag und der positive Ausschlag nehmen, wie es scheint, mit der Dauer des Säulenschlusses in ungefähr gleichem Mafse zu. Dafür zeigt aber der mit Hühnereiweifs getränkte Bausch ein um so auffallenderes Verhalten. Hier nämlich nimmt, mit wachsender Dauer des Stromes, die negative Wirkung statt zu, gleichfalls ab. Es entwickelt sich ein positiver Rückschwung, und die secundär-elektromotorische Wirkung erscheint bei 1—2 Minuten Durchströmung in derselben Art doppelsinnig, wie die des Wasserbausches bei nur wenigen Secunden Stromesdauer. Endlich aber, bei fünf und mehr Minuten Schlufs, hat die erst später hervorgetretene positive Wirkung dergestalt die Oberhand gewonnen, dafs sie allein übrig zu sein scheint.

Nicht minder als von der Dauer des Stromes sind die secundär elektromotorischen Wirkungen natürlich abhängig von seiner Stärke. Im Allgemeinen wächst ihre Stärke also mit der durch den Bausch ge-

Digitized by Google

gangenen Elektricitätsmenge, d. h. mit dem Product aus der Stärke des Stromes in seiner Dauer. Vermuthlich würde man bei schwefelsaurer Kupferoxydlösung, Brunnenwasser und Eiweifs durch Verstärkung des Stromes zuletzt dieselben Wirkungen erhalten, wie durch Vergröfserung seiner Dauer. Zwar ist mir dies zu beobachten nicht geglückt. Allein ich konnte die Stärke des Stromes natürlich nicht in so weiten Grenzen verändern wie seine Dauer.

Bei fortgesetzter Durchströmung der Bäusche erreicht die secundär elektromotorische Wirkung ohne Zweifel einen bis zu einer gewissen Grenze von der Stromstärke abhängigen Grenzwerth, den sie nicht übersteigt. In meinen Versuchen ist dieser Grenzwerth nur einmal bei einer später zu erwähnenden Gelegenheit beobachtet worden.

Hält man, in der obigen Uebersicht, die Widerstände der verschiedenen Flüssigkeiten, womit der durchströmte Bausch getränkt war, zusammen mit der Stärke der Wirkungen bei Anwendung dieser Flüssigkeiten, so findet man, dafs gar keine Beziehung zwischen beiden herrscht. Daraus folgt, dafs den beobachteten Ausschlägen sehr verschiedene elektromotorische Kräfte zu Grunde lagen. Dieser Unterschied der Kräfte kann aber nicht allein von Schwankungen in der Stärke des ursprünglichen Stromes herrühren. Denn die elektromotorische Kraft der Säule und der Widerstand des Säulenkreises waren beständig genug, damit die verhältnifsmäfsige Stärke des ursprünglichen Stromes wesentlich durch den Widerstand der Bäusche bestimmt wurde. Einem gröfseren Widerstande der Bäusche hätte also stets eine geringere secundär-elektromotorische Kraft entsprechen müssen, wäre dieselbe der Stärke des ursprünglichen Stromes einigermafsen proportional gewesen. Auch zeigte die Beobachtung am Vertical-Galvanoskop (S. oben S. 397) ganz unmittelbar, dafs der durch den grofsen Widerstand des Bausches im einen Falle sehr geschwächte Strom der Säule eine viel lebhaftere secundär-elektromotorische Wirkung durch denselben stark widerstehenden Bausch hervorbrachte, als in einem anderen Falle der wegen besserer Leitung des Bausches viel stärkere Strom durch diesen letzteren, minder stark widerstehenden Bausch. Dies fiel z. B. in die Augen bei Anwendung von Brunnenwasser und destillirtem Wasser im Gegensatz zu schwefelsaurer Kupferoxydlösung, Salpeterlösung, Chlorwasserstoffsäure. Es ergiebt sich hieraus offenbar, dafs die verschiedenen durchströmten Flüssigkeitsanordnungen eine verschiedene Empfänglichkeit für diejenige Wirkungsweise des Stromes besitzen müssen, vermöge welcher sie sich nachmals elektromotorisch zeigen.

Die absolute Stärke der Wirkungen war übrigens, unter scheinbar unveränderten Umständen, unerklärlicher Weise oft sehr verschieden, so

Digitized by Google

dafs es schwer fällt, einen mittleren Werth derselben für jede der aufgeführten Flüssigkeiten anzugeben.

Bei öfterer Wiederholung des Versuches mit der nämlichen Anordnung pflegte die Stärke der Wirkungen etwas abzunehmen. Ob dies allein die Schuld der seit der Einrichtung des Versuches verflossenen Zeit war, oder ob die Abnahme durch die Einwirkung des Stromes selber bedingt war, ist nicht ausgemacht. Nur so viel steht fest, dafs sie nicht der Vermehrung des Widerstandes der Bäusche durch Austrocknung zuzuschreiben war.

(ii) Die Grenze ungleichartiger Elektrolyte wird in Folge der Durchströmung zeitweise der Sitz einer secundär-elektromotorischen Kraft.

Man kann die Wirkungen, um die es sich hier handelt, auch noch auf eine andere, zwar minder sichere, dafür aber einfacher und leichter auszuführende Art beobachten, nämlich so wie wir oben Bd. I. S. 377 bei Untersuchung der dort sogenannten Peltier'schen Ladungen verfuhren, d. h. mit Uebertragung des geladenen Bausches aus dem Kreis der Säule in den Multiplicatorkreis.

Man entfernt die Hülfsbäusche, kehrt die Zuleitungsbäusche der beiden Kreise, die, bis auf die Lücke zwischen diesen Bäuschen, und eine metallische Unterbrechung im Säulenkreise, dauernd geschlossen sind, einander zu, versieht sie mit Sicherheitsbäuschen, und überträgt den Bausch, der dem Strom ausgesetzt werden soll, bei unterbrochenem Säulenkreise, so lange von den Zuleitungsbäuschen des Multiplicators auf die der Säule und zurück, bis entweder keine in Betracht kommende Wirkung mehr erfolgt, oder bis man sich der Richtung und Gröfse der noch erfolgenden Wirkung vergewissert hat. Dann schliefst man den Säulenkreis, und läfst den Bausch so lange auf den Zuleitungsbäuschen derselben ruhen, als man für gut befindet. Ueberträgt man ihn dann mit gehöriger Schnelligkeit auf die Zuleitungsbäusche des Multiplicators, so findet man ihn in der Stärke und Richtung elektromotorisch wirksam geworden, oder die Richtung und Stärke seiner früheren Wirksamkeit durch den Strom der Säule in dem Sinne verändert, wie man es aus den obigen Erfolgen leicht entnehmen kann. Ich habe den Versuch angestellt mit der verdünnten Schwefelsäure von 1.13, mit Kalihydratlösung, Brunnenwasser, destillirtem Wasser und schwefelsaurer Kupferoxydlösung. Die Schwefelsäure gab eine kräftige negative Wirkung, die vier anderen Flüssigkeiten gaben positive Ausschläge. Das Brunnenwasser, destillirte Wasser und die Kupferlösung wirkten hier, und zum Theil sehr stark, rein positiv, weil der durch das Uebertragen verursachte Zeitverlust, der negativen Wirkung, die sich sonst zu Anfang kund giebt, ebenso zu

Digitized by Google

verschwinden gestattet, wie die Verzögerung der Schliefsung des Multiplicatorkreises bei der oben S. 400 beschriebenen Versuchsweise.

In dieser Gestalt erinnern diese Versuche, wie man sieht, sehr an die oben S. 378 ff. in erneuter Form vorgetragenen über die innere Polarisirbarkeit des Muskelfleisches und einiger anderen porösen Körper. Man könnte sich daher denken, dafs der Holzfaser des Papieres, gleich dem oben Bd. I. S. 380 erwähnten Stück Holz, innere Polarisirbarkeit zukomme. Allein abgesehen davon, dafs bei dieser Vorstellung die mit einigen Flüssigkeiten erhaltenen positiven und doppelsinnigen Wirkungen sehr dunkel bleiben würden, zeigt auch der folgende Versuch, dafs, wenn innere Polarisirbarkeit eine Rolle in den obigen Versuchen spielt, doch ohne Zweifel dabei noch etwas Anderes in Betracht kommt. Kehrt man nämlich, bei der letztbeschriebenen Versuchsweise, den zwischen Kochsalzbäuschen geladenen Schwefelsäurebausch oberst zu unterst, so dafs er die Zuleitungsbäusche des Multiplicators nicht mit denselben Punkten seiner Oberfläche berührt wie die der Säule, so werden die secundär-elektromotorischen Wirkungen vermifst. Dasselbe ist der Fall, wenn man die mit den Zuleitungsbäuschen der Säule in unmittelbarer Berührung gewesenen Fliefspapierlagen vom Bausch ablöst. Dies rührt nicht her von Vergröfserung des Widerstandes oder vom Zeitverlust, denn die abgelösten Lagen für sich allein erweisen sich als wirksam, und thun dies sogar noch, nachdem man sich von der Unwirksamkeit des derselben beraubten Bausches überzeugt hat. Dies dürfte nicht stattfinden, wenn es sich um innere Polarisation handelte, und scheint zu zeigen, dafs der Sitz der elektromotorischen Kraft, statt wie bei der inneren Polarisation an allen Punkten des durchströmten Bausches, vielmehr allein an der Berührungsstelle desselben mit den Zuleitungsbäuschen der Säule oder der Querbäusche zu suchen sei. Da aber bei Tränkung des durchströmten Bausches mit Kochsalzlösung, derselben Flüssigkeit, die auch die Querbäusche enthalten, jede Wirkung ausbleibt, während alle andere Flüssigkeiten, wie verschieden sie auch waren, irgendwie beschaffene Wirkungen gaben, so wird man zunächst auf die Vorstellung geführt, dafs vielleicht die Grenze ungleichartiger Elektrolyte, ganz unabhängig von der Natur oder auch nur der Gegenwart eines damit getränkten porösen Körpers, in Folge der Durchströmung der Sitz elektromotorischer Kräfte werde. Die Richtigkeit dieser Vermuthung liefs sich leicht folgendermafsen aufser Zweifel setzen.

Die vier Zuleitungsgefäfse standen einander in der oben S. 383 beschriebenen Art gegenüber, ohne jedoch, wie es dort gesagt ist, zu zweien gegeneinander verschoben zu sein. Es wurden die Zuleitungsbäusche entfernt, und zwischen je einem Zuleitungsgefäfs der Säule und einem

Digitized by Google

solchen des Multiplicators ein Hülfsgefäfs mit gesättigter Kochsalzlösung aufgestellt (Fig. 153. Taf. VI). Das Hülfsgefäfs wurde in hergebrachter Weise durch heberförmige, zweimal rechtwinklig gebogene Röhren mit Kochsalzlösung verbunden, einerseits mit dem Zuleitungsgefäfs des Multiplicators, andererseits mit dem der Säule. Beide Hülfsgefäfse unter sich wurden mit einer ähnlichen zur Aufnahme einer ungleichartigen Flüssigkeit bestimmten Röhre verbunden. Bei gut leitender Beschaffenheit der Flüssigkeit war die Röhre eng, und an beiden Enden capillar ausgezogen, wie solche Röhren zuerst von Walker[1], dann von Fechner[2], zuletzt von Becquerel dem Vater[3], bei Versuchen über Ketten mit mehreren Flüssigkeiten angewendet wurden. Bei schlechter leitenden Flüssigkeiten, deren geringere Dichte dies Verfahren gestattete, wurden aber die Walker'schen Röhren durch weite Röhren nach Art des Schliefsungsrohres (Fig. 7. Taf. I. Bd. I dieses Werkes) ersetzt. Um sie, mit der ungleichartigen Flüssigkeit gefüllt, in die Hülfsgefäfse umzustürzen, wurden ihre Mündungen mit Papierscheibchen verschlossen, die beim Umkehren der Röhre durch den Luftdruck hafteten.

Wie man sieht, ist die beschriebene Anordnung gleichbedeutend mit der mit den Querbäuschen, nur dafs dabei die Gegenwart fester, mit den Elektrolyten getränkter Körper ganz vermieden ist. Die Querbäusche werden vorgestellt durch die Hülfsgefäfse und die diese mit den Zuleitungsgefäfsen des Multiplicators und der Säule verbindenden Röhren. Die Verbindungsröhre zwischen den Hülfsgefäfsen befindet sich in derselben Lage in Bezug auf die beiden Paar Zuleitungsgefäfse wie der balkenförmige Bausch zwischen den Querbäuschen in Bezug auf die beiden Paar Zuleitungsbäusche. Bei der einen Stellung der Wippe bildet sie einen Theil des Multiplicatorkreises, bei der anderen einen Theil des Säulenkreises, indem die Enden der darin enthaltenen ungleichartigen Flüssigkeitssäule gleichwohl fortdauernd mit der Salzlösung der Hülfsgefäfse in Berührung stehen.

Mit dieser Vorrichtung machte ich nun dieselbe Versuchsreihe durch, wie vorher mit den balkenförmigen Bäuschen. Folgendes waren die Ergebnisse.

1. Verdünnte Schwefelsäure in Walker'scher Röhre. Mit der concentrirteren der beiden oben S. 399 bezeichneten Säuren, welche die gesättigte Kochsalzlösung an Dichte etwas übertrifft, kam die Nadel nicht zur Ruhe, sondern wanderte beständig auf der Theilung hin und

[1] Poggendorff's Annalen u. s. w. 1825. Bd. IV. S. 319.*
[2] Ebendas. 1839. Bd. XLVIII. S. 5. Taf. I. Fig. 2.*
[3] Comptes rendus etc. 29 Mars 1847. t. XXIV. p. 515.*

Digitized by Google

her, unstreitig wegen der an beiden Enden der Röhre ungleichmäfsig vor sich gehenden Vermischung der Säure mit der Salzlösung. Bei Anwendung der verdünnteren Säure, welche auf der Kochsalzlösung schwamm, fiel dieser Uebelstand ganz fort. Wurde die dreifsiggliederige GROVE'sche Säule 5″ lang durch die verdünnte Schwefelsäure zwischen Kochsalzlösung geschlossen, so erfolgte beim erneuten Schliessen des Multiplicatorkreises Anschlagen an die negative Hemmung. Die Wirkung war nicht ganz so stark als in dem Versuch mit dem balkenförmigen, über die Querbäusche gebrückten Bausch, unzweifelhaft wegen des vermehrten Widerstandes. Mit Kochsalzlösung in der WALKER'schen Röhre blieb die Nadel auf Null. Dasselbe war der Fall, wenn bei Anfüllung der WALKER'schen Röhre mit Säure auch die Hülfsgefäfse Säure enthielten. Alsdann nämlich enthielt der Multiplicatorkreis bei seiner Schliefsung nach Oeffnung des Säulenkreises keine Grenze ungleichartiger Elektrolyte, die vorher durchströmt gewesen war. Dagegen, wenn jetzt die WALKER'sche Röhre Kochsalzlösung enthielt, ward sofort die Nadel an die negative Hemmung geworfen. Diese Wirkungen wuchsen rasch mit der Stärke sowohl wie auch mit der Dauer des ursprünglichen Stromes. Die Abnahme der Wirkungen bei mehrmaliger Wiederholung des Versuches konnte hier nicht wahrgenommen werden.

2. Gemeine Salpetersäure in WALKER'scher Röhre. Negative Wirkung, wie bei Schwefelsäure, nur erheblich schwächer.

3. Chlorwasserstoffsäure. Dieselbe mit dem gleichen Volum destillirten Wassers verdünnt. Beide in WALKER'scher Röhre. Negative Wirkung, stärker als bei Salpetersäure.

4. Concentrirte Kalihydratlösung in WALKER'scher Röhre. Anschlagen an die positive Hemmung.

5. Ammoniakflüssigkeit. In WALKER'scher Röhre ist die Wirkung unmerklich. Bei Anwendung eines weiten Heberrohres erfolgt eine kräftige negative Wirkung.

6. Gesättigte Salpeterlösung in weiter Heberröhre. Schwache negative Wirkung.

7. Gesättigte schwefelsaure Kupferoxydlösung in weiter Heberröhre. Dieselbe mit dem gleichen Volum destillirten Wassers verdünnt. Merkwürdigerweise ist die Wirkung Null, auch nach 5′ langer Schliefsung der dreifsiggliederigen Säule. Es kann nicht behauptet werden, dafs eine positive Spur erscheine.

8 u. 9. Brunnenwasser und destillirtes Wasser (in einigen Versuchen mit Lakmus gefärbt) in weiter Heberröhre. Starke positive Wirkung. Von dem negativen Vorschlage, der sich bei Anwendung eines Bausches kundgab, ist hier nicht die geringste Spur vorhanden. Werden

Digitized by Google

die Hülfsgefäfse und sämmtliche Heberröhren, oder auch nur die Hülfsgefäfse, mit Wasser gefüllt, so erfolgt, mit Wasser in der die Hülfsgefäfse verbindenden Heberröhre, keine Spur von Wirkung.

Bei diesen Versuchen war es beiläufig, wo die secundär-elektromotorische Kraft, insofern sie von der Zeit der Durchströmung abhängt, sehr nahe ihren oberen Grenzwerth erreichte (S. oben S. 401). Bei Anwendung einer vierziggliederigen Säule brachte es in der Wirkung, die sich allerdings bereits auf etwa 80° Ausschlag belief, keinen merklichen Unterschied mehr hervor, ob der Strom drei, oder ob er fünf Minuten hindurchgesandt worden war.

10. Hühnereiweifs in weiter Heberröhre. Schwache positive Wirkung.

Wie man sieht, lassen diese Versuche keinen Zweifel an der Richtigkeit der Vermuthung, zu deren Prüfung sie bestimmt waren. Die Grenze ungleichartiger Elektrolyte wird in Folge der Durchströmung zeitweise der Sitz einer secundär-elektromotorischen Kraft, es findet an derselben eine Art von Polarisation statt.

Sehr auffallend aber ist der Umstand, dafs, bei dieser Form des Versuches, sich die secundär-elektromotorische Wirkung in einigen Fällen anders verhält als bei Anwendung der Bäusche. Bei der schwefelsauren Kupferoxydlösung, dem Brunnenwasser und dem destillirten Wasser wird hier der negative Vorschlag vermifst, der dort, bei den beiden ersten Flüssigkeiten allerdings nur nach kurzer Durchströmung, die Wirkung zu einer doppelsinnigen machte. Das Hühnereiweifs, welches im Bausch zwischen den mit Kochsalzlösung getränkten Querbäuschen nach kurzer Durchströmung negativ, nach längerer positiv wirkte, wirkt hier stets positiv. Ersetzt man das heberförmige Rohr zwischen den Hülfsgefäfsen durch einen Bausch nach Art des Sattelbausches, der mit Brunnenwasser, destillirtem Wasser oder Eiweifs getränkt ist, so erfolgt alsbald wieder bei den beiden ersten Flüssigkeiten die doppelsinnige, bei Hühnereiweifs die negative Wirkung nach kurzer Durchströmung, so dafs es klar ist, dafs dieser abweichende Erfolg wirklich durch die Gegenwart des Bausches bedingt ist.

(III) Die Substanz der Bäusche ist mit innerer Polarisirbarkeit begabt, woraus sich die mit einigen Flüssigkeiten erhaltenen doppelsinnigen Wirkungen erklären.

Inmitten dieses Gedränges neuer und scheinbar widersprechender Thatsachen enthält vielleicht folgende Wahrnehmung einen Wink, der zum Führer aus der Verwirrung dienen kann.

Digitized by Google

Verlängert man entweder bei der zuerst, oben S. 398 beschriebenen Form des Versuches mit den Hülfsbäuschen, oder bei der zuletzt beschriebenen mit den Hülfsgefäfsen, den durchströmten Bausch, so tritt beim Wasser die negative Wirkung stärker hervor, der positive Ausschlag, der auf den negativen Vorschlag folgt, wird unmerklich. Verkürzt man den Bausch, so geschieht das Gegentheil, der negative Vorschlag wird verschwindend und die positive Wirkung tritt stärker hervor. Da aber, bei einerlei Länge des Bausches, die Art der Wirkung, welche man erhält, unabhängig ist vom Querschnitt des Bausches, so können diese Unterschiede nicht herrühren von den durch die verschiedene Länge des Bausches herbeigeführten Veränderungen der Stromstärke. Es bleibt vielmehr nichts übrig, als sich zu denken, dafs das Papier doch wirklich innere Polarisirbarkeit besitze, und dafs sich, in den Versuchen mit Bäuschen, die negative innere Polarisation des Papieres algebraïsch summire mit der an der Grenze der ungleichartigen Elektrolyte durch den Strom erzeugten bald positiven, bald negativen secundär-elektromotorischen Kraft, und dadurch die Abweichungen zwischen den secundär-elektromotorischen Erscheinungen bei Gegenwart oder bei Ausschlufs der Bäusche bedinge.

Um diese Vermuthung zu prüfen, müssen wir mit Bäuschen eine solche Anordnung treffen, dafs der Multiplicatorkreis, wenn er nach Oeffnung des Säulenkreises geschlossen wird, keine durchströmt gewesenen Grenzen ungleichartiger Elektrolyte enthalte Eine Anordnung der Art haben wir bereits oben S. 384. 388. 398 in's Werk gesetzt, indem wir die Querbäusche mit einem balkenförmigen Bausch überbrückten, der mit gesättigter Kochsalzlösung getränkt war. In diesem Fall fand keine secundär-elektromotorische Wirkung statt, was gegen die Richtigkeit unserer Vermuthung zu sprechen scheint. Es wird indefs rathsam sein, uns nicht durch den Erfolg dieses Versuches von ferneren Prüfungen abhalten zu lassen. Die Möglichkeit ist offenbar da, dafs ein poröser Körper mit einer Flüssigkeit getränkt keine innere Polarisation zeige, während er, mit einer anderen getränkt, dergleichen offenbare. Die Folge wird lehren, dafs dies wirklich der Schlüssel zu dem hier vorliegenden Räthsel ist.

Um mit balkenförmigen Bäuschen, die mit einer anderen Flüssigkeit als mit gesättigter Kochsalzlösung getränkt sind, eine Anordnung zu treffen, die der gestellten Bedingung entpricht, würde offenbar nur nöthig sein, die Querbäusche, statt mit Kochsalzlösung, mit der Flüssigkeit des balkenförmigen Bausches zu tränken. Der Strom der Säule dringt in den Querbäuschen schwerlich mit merklicher Stärke bis an ihre Berührungsfläche mit den Zuleitungsbäuschen des Multiplicators vor; und

Digitized by Google

wenn er es thäte, würde er doch jene Fläche in gleichem Betrage in der einen oder der anderen Richtung durchströmen, so dafs die Summe der in jeder Berührungsfläche hinterbleibenden elektromotorischen Wirkungen aller Wahrscheinlichkeit nach gleich Null würde.

Bei Ausführung des Versuches fand ich es indefs bequemer, die Querbäusche, die, wie man sich erinnert, eigentlich für die Untersuchung von Muskeln und Nerven bestimmt waren (S. oben S. 384), durch eben solche balkenförmige Bäusche zu ersetzen, wie sie, mit verschiedenen Flüssigkeiten getränkt, zwischen den Querbäuschen dem Strom ausgesetzt wurden. Zu jedem Versuch wurden also jetzt drei solcher Bäusche, mit der nämlichen Flüssigkeit getränkt, angewendet, von denen zwei A, A' (S. Fig. 154. Taf. VI) die Zuleitungsbäusche der Säule mit denen des Multiplicators verbanden, der dritte aber, B in der Figur, von der Mitte des einen A nach der des anderen A' gebrückt war, so dafs die drei Bäusche zusammen die Gestalt eines H bildeten. Die vier Zuleitungsbäusche waren natürlich auch hier stets mit den erforderlichen Sicherheitsbäuschen versehen.

Wie man sieht, entspricht diese Anordnung im Wesentlichen ganz der ursprünglichen mit den Querbäuschen. Sind die balkenförmigen Bäusche, welche, die Schenkel des H's bildend, die Zuleitungsbäusche der Säule und des Multiplicators miteinander verbinden, mit Kochsalzlösung getränkt, und der dritte, querüber gelegte Bausch B enthält eine andere Flüssigkeit aus der Zahl der oben bereits in den Kreis der Versuche gezogenen, so ist demgemäfs der Erfolg völlig wie bei Anwendung der Querbäusche.

Mit Kochsalzlösung in dem Bausch B ist er also auch hier Null. Versuchen wir aber einmal, die Kochsalzlösung in den drei Bäuschen A, A' und B durch einige andere Flüssigkeiten zu ersetzen, um zu sehen, ob sich nicht, bei der einen oder anderen, elektromotorische Wirkungen kundgeben. Solche Wirkungen werden wir alsdann ohne Zögern als von innerer Polarisation herrührend ansprechen dürfen, da der Multiplicatorkreis, bei seiner Schliefsung nach Oeffnung des Säulenkreises, keine durchströmt gewesenen Berührungsstellen ungleichartiger Elektrolyte enthält.

1. Verdünnte Schwefelsäure.
2. Gemeine Salpetersäure.
3. Chlorwasserstoffsäure.
4. Concentrirte Kalihydratlösung.
5. Gesättigte Salpeterlösung.

Auch bei fünf Minuten Schlufs der dreifsgliederigen Grove'schen Säule keine Spur von Wirkung. Wird der Bausch B mit gesättigter Kochsalzlösung getränkt, statt mit derselben Flüssigkeit, die die Bäusche A, A, enthalten, so zeigt sich bei den drei Säuren eine starke negative, bei der Kalilauge eine starke positive Wirkung.

Digitized by Google

6. Gesättigte schwefelsaure Kupferoxydlösung. Es ist bei fünf Minuten Schluſs der dreiſsiggliederigen Grove'schen Säule eine Spur negativer Wirkung wahrzunehmen.

7. Ammoniakflüssigkeit. Unter denselben Umständen starke negative Wirkung.

8. u. 9. Brunnenwasser und destillirtes Wasser. Schon bei kurzer Dauer der Durchströmung sehr starke negative Wirkung, die auch bei der längsten Dauer rein negativ bleibt.

10. Hühnereiweifs. Dasselbe, nur schwächer.

Es hat sich somit herausgestellt, daſs Fliefspapier, getränkt mit Kochsalz-, Salpeter- oder Kalihydratlösung, mit verdünnter Schwefelsäure, mit Salpetersäure und Chlorwasserstoffsäure keine innere Polarisirbarkeit zeigt, hingegen mit schwefelsaurer Kupferoxydlösung, mit destillirtem und Brunnenwasser, mit Ammoniakflüssigkeit und Hühnereiweifs solche allerdings, und zwar in verschiedenem Grade, offenbart. Hieraus, mit Hinzunahme einiger ferneren, ganz unbedenklichen Voraussetzungen, erklären sich nun die Widersprüche zwischen den beiden ersten oben mitgetheilten Versuchsreihen vollständig wie folgt. Es sind drei Fälle zu unterscheiden.

Den ersten bieten diejenigen Flüssigkeiten dar, mit denen getränkt der Bausch keine innere Polarisation zeigt. Hier ist die secundärelektromotorische Wirkung die nämliche, gleichviel ob die Flüssigkeiten im Bausch, oder frei in einer Röhre, zwischen Kochsalzlösung gebracht werden.

Den zweiten Fall bieten diejenigen Flüssigkeiten, bei denen, wie bei schwefelsaurer Kupferoxydlösung, Brunnenwasser, destillirtem Wasser und Hühnereiweifs, die Wirkung in der Heberröhre, welche nur an der Grenze des Wassers und der Kochsalzlösung hat erzeugt werden können, rein positiv ist, im Bausch aber sich dazu eine negative Wirkung wegen innerer Polarisation gesellt. Diese macht sich, wenn beide Wirkungen zugleich im Spiel sind, im Allgemeinen dadurch bemerkbar, daſs bei kurzer Durchströmung ein negativer Vorschlag dem positiven Ausschlag voraufgeht.

Um dies zu verstehen, hat man sich zu denken, daſs von den beiden secundär-elektromotorischen Kräften von entgegengesetztem Zeichen, der inneren negativen und der äufseren positiven, wie wir sie der Kürze halber nennen wollen, die äufsere positive langsamer mit der Dauer des Säulenschlusses wächst und mit der des Multiplicatorschlusses abnimmt als die innere negative.

In Fig. 155. Taf. VI. stellt die Abscissenaxe $0T$ die Zeit vor, die ausgezogene Curve $0A$, $(+A)$ das Gesetz, wonach die äufsere positive Kraft,

Digitized by Google

die punktirte Curve $0I,(-I)$ dasjenige, wonach die innere negative Kraft mit der Dauer des Säulenschlusses wächst. Die Curven schneiden sich in s. Bei geringer Dauer des Säulenschlusses, vom Nullpunkt aus diesseits des Schneidepunktes s, hat vermöge ihres rascheren Wachsthums die innere negative Kraft die Oberhand. Man denke sich nun hier zur Zeit τ den Säulenkreis geöffnet und den Multiplicatorkreis geschlossen, so zeigen die Curven I,t, A,ϑ den Verlauf an, den die Abgleichung der Kräfte nimmt. Diese Curven schneiden sich in σ. Zu Anfang wird die Nadel allerdings von negativen Kräften getroffen, deren Betrag durch den schraffirten Flächenraum I,A,σ gemessen wird. Dann gewinnt, wegen des rascheren Sinkens der inneren negativen Kraft, die äufsere positive die Oberhand, und es erfolgt ein Ausschlag in ihrem Sinne unter dem Einflufs der durch den unschraffirten Flächenraum $\sigma t\vartheta$ vorgestellten Summe von Kräften.

Dies erklärt die doppelsinnige Wirkung nach kurzer Durchströmung. Bei Anwendung der Verzögerungsscheiben oder der Methode des Uebertragens (S. oben S. 400. 402) wird freilich das Gesetz der Abnahme beider Kräfte ein anderes sein als bei freigestellter Abgleichung durch den Multiplicatorkreis. Doch ist leicht denkbar, dafs auch hier die Curve der negativen Kräfte die steilere, die der positiven Kräfte die minder steile bleibe, und dafs demgemäfs beide Curven fortfahren, sich irgendwo, wie in der Figur bei σ, zu schneiden. Geschieht alsdann die Schliefsung des Multiplicatorkreises erst jenseits dieses Schneidepunktes, so fällt die Wirkung auf die Nadel, wie wir es oben a. a. O. gesehen, rein positiv aus.

Eine Verlängerung des Bausches mufs zwar, indem sie die Stärke des Säulenstromes vermindert, sowohl die positiven Kräfte an den Grenzen als auch die überall im Inneren des Bausches verbreiteten negativen Kräfte herabsetzen. Trotzdem kann aber die Summe der letzteren Kräfte, über die ganze Länge des Bausches genommen, wachsen. Unsere Figur wird also durch die Verlängerung des Bausches dahin verändert werden, dafs sämmtliche Ordinaten der Curve der positiven Kräfte verkleinert, die der Curve der negativen Kräfte hingegen vergröfsert werden. Man sieht leicht, dafs dies, bei beziehungsweise gleichbleibender Steilheit beider Curven, die Wirkung haben mufs, den negativen Vorschlag im Verhältnifs zum positiven Ausschlag zu vergröfsern. Denn es sei $0\mathfrak{J},(-\mathfrak{J})$ die neue Curve der negativen, $0\mathfrak{A},(+\mathfrak{A})$ die der positiven Kräfte; es seien ferner $\mathfrak{J},\sigma,t,$, $\mathfrak{A},\sigma,\vartheta$, die neuen Curven, in denen die Abgleichung geschieht, σ, der neue Schneidepunkt dieser Curven, so ist der unschraffirte Flächenraum $\mathfrak{J},\mathfrak{A},\sigma,$, im Verhältnifs zum schraffirten Flächenraum σ,t,ϑ, gröfser, als der schraffirte I,A,σ im Verhältnifs zu

Digitized by Google

dem unschraffirten $\sigma t \vartheta$. Dies kann so weit gehen, dafs der Flächenraum σ, t, ϑ, ganz verschwindet, wo dann die Wirkung rein negativ wird. Es bedarf wohl nicht erst der Ausführung, dafs Verkürzung des Bausches die entgegengesetzten Folgen nach sich ziehen müsse; bei hinreichender Verkürzung kann der die negativen Kräfte vorstellende Flächenraum im Verhältnifs zu dem der positiven Kräfte so klein gemacht werden, dafs die Wirkung ganz im Sinne der letzteren ausfällt.

Dasselbe Verhalten kann, wie die Fig. 155 ferner in Uebereinstimmung mit der Erfahrung lehrt, auch ohne Veränderung in der Länge des Bausches einfach durch Vergröfserung der Durchströmungsdauer erzielt werden. Dadurch wird der Vorgang in der Figur jenseits des Schneidepunktes s der Curven der negativen und der positiven Kräfte in die Gegend verlegt, wo der Unterschied der Ordinaten beider Curven ein positiver ist. Die positive Wirkung hat also von vornherein die Oberhand, und behält sie auch bei beziehungsweise gleichbleibender Steilheit beider Curven ($I_{„} t_{„}$, $A_{„} \vartheta_{„}$) nach Oeffnung des Säulen- und Schliefsung des Multiplicatorkreises, so dafs die negative Wirkung gar nicht zum Vorschein kommen kann.

Die vorstehende Zergliederung pafst vorzugsweise auf die Vorgänge bei Tränkung des Bausches mit Brunnenwasser. Bei schwefelsaurer Kupferoxydlösung statt des Brunnenwassers sind erstens die Ordinaten beider Curven absolut genommen sehr viel niedriger, für's zweite schneiden sie sich entweder sehr viel früher, oder es findet irgend eine andere Abänderung ihres Verlaufes statt, die zur Folge hat, dafs die doppelsinnige Wirkung der rein positiven bereits früher weicht, als dies bei dem Brunnenwasser der Fall ist.

Durch Verlängern des Bausches läfst sich, wie die Figur lehrt, der Zeitpunkt, wo dergestalt die negative Wirkung unmerklich wird, weiter hinausrücken, indem die Curven $0\mathfrak{J}$, $(-\mathfrak{J})$, $0\mathfrak{A}$, $(+\mathfrak{A})$, welche das Gesetz der Kräfte bei verlängertem Bausch vorstellen, sich erst später (bei $s_{,}$) schneiden als die ursprünglichen Curven $0I, I_{„}$ $(-I)$, $0A, A_{„}$ $(+A)$. In derselben Art, wie Verlängern des Bausches, wirkt aber Tränken desselben mit destillirtem Wasser, statt mit Brunnenwasser, unstreitig weil dabei die secundär-elektromotorische Kraft auf allen Punkten des Inneren des Bausches erhöht wird, nach einem Erfahrungssatze, von dem später die Rede sein wird. Indem die Gröfse der positiven Wirkung, soweit es sich beurtheilen läfst, dieselbe bleibt, werden also die Ordinaten der Curve der negativen Kräfte im Allgemeinen erhöht im Vergleich zu denen der Curve der positiven Kräfte, und der Schneidepunkt der beiden Curven dergestalt so weit hinausgerückt, dafs mit destillirtem Wasser

Digitized by Google

noch ein heftiger negativer Vorschlag erfolgt, wo mit Brunnenwasser bereits rein positive Wirkung stattfinden würde (S. oben S. 400).

Was endlich die etwas abweichenden Erscheinungen bei Tränkung des Bausches mit Hühnereiweifs betrifft, so erklären sich dieselben eben so befriedigend, wenn hinsichtlich des Verlaufes der Curven geeignete Annahmen gemacht werden. Es sind, wie man sich erinnert, drei Zustände zu unterscheiden, der erste bei kurzer Durchströmung, wo rein negative, der zweite bei längerer Durchströmung, wo doppelsinnige, endlich der dritte bei noch längerer Durchströmung, wo rein positive Wirkung erfolgt. Die beiden letzten Zustände fallen, wie der Erscheinung, so der Auslegung nach, zusammen mit dem, was mit Brunnenwasser beobachtet wurde. Es handelt sich also nur darum, die Erscheinung bei kurzer Durchströmung damit in Einklang zu bringen. Dies kann unter anderen auf eine der beiden Arten geschehen, die in Fig. 156 Tafel VI vorgestellt sind. Man denkt sich entweder, dafs die Curve der positiven Kräfte anfangs gegen die Abscissenaxe convex ist und erst später concav wird (Fig. 156 *A*), oder, was das einfachere ist, dafs die Curve der negativen Kräfte steiler aufsteigt als bei den vorigen Flüssigkeiten (Fig. 156 *B*).

Der letzte der drei oben S. 409 angezeigten Fälle findet statt bei der Ammoniakflüssigkeit, wo die Wirkung in der Heberröhre zwischen Kochsalz, sowohl als im Bausch bei Hförmiger Anordnung, negativ ist. Es ist klar, dafs sie demnach auch im Bausch zwischen Kochsalz rein negativ bleiben müsse.

Der Widerspruch zwischen den mit der Heberröhre und den mit dem Bausch zwischen Kochsalz erhaltenen Ergebnissen ist also dergestalt geschlichtet, und wo nach dem bisherigen Stande der elektrischen Kenntnifs keinerlei secundär-elektromotorische Wirkung zu gewärtigen war, haben wir unter Umständen sogar zwei verschiedene Arten derselben kennen gelernt. Von diesen knüpft sich die innere Polarisation der Bäusche bereits an früher Verhandeltes an (S. oben S. 380), und es soll demnächst noch ausführlicher darauf zurückgekommen werden. Hier will ich zunächst noch Einiges mittheilen, was sich auf die gänzlich neue Polarisation an der Grenze ungleichartiger Elektrolyte bezieht.

(IV) Nachweis der Polarisation an nur Einer Grenze ungleichartiger Elektrolyte.

Es ist also Thatsache, dafs die Grenze zweier Elektrolyte, ganz unabhängig von der Gegenwart eines damit getränkten porösen Körpers, in Folge der Durchströmung ebenso der Sitz einer elektromotorischen Kraft werde, wie die Grenze eines Elektrolyten und eines Leiters der

Digitized by Google

ersten Klasse. Mit einem Worte, eine Schicht verdünnter Schwefelsäure zwischen zwei Massen Kochsalzlösung durchströmt, wirkt in der Art wie eine metallische Zwischenplatte, nur sehr viel schwächer. Sie wird negativ geladen oder polarisirt, um nach kurzer Zeit sich wieder mit ihren beiden Flächen gleichartig und daher unwirksam zu verhalten. Den obigen Erfahrungen nach zu urtheilen, giebt es vermuthlich kaum zwei Flüssigkeiten, die, ähnlich angeordnet, nicht dieselbe Erscheinung zeigten. Bei Anwendung metallischer Zwischenplatten aber ist die Wirkung, mit Ausnahme einiger höchst räthselhaften Fälle, deren oben Bd. I. S. 236. 610 gedacht wurde, stets negativ. Bei der äufseren Polarisation der feuchten Leiter, wie wir die neue Erscheinung, zur Unterscheidung von der oben S. 380 bezeichneten inneren Polarisation, fortan nennen wollen, ist dies, wie man gesehen hat, nicht mehr Regel, sondern bereits die kleine Anzahl von Combinationen feuchter Leiter, die wir geprüft haben, zeigte uns fast eben so häufig positive als negative Wirkungen.

Natürlich übrigens bedarf es, um die Polarisation an der Grenze feuchter Leiter aufzuweisen, nur Einer solchen durchströmten Grenze im Multiplicatorkreise. Die einfachste Art, dies durch den Versuch zu zeigen, ist die in Fig. 157 Taf. VI abgebildete, welche an das bekannte thermoëlektrische Kreuz Peltier's erinnert[1]. Die vier Zuleitungsgefäfse werden so aufgestellt, dafs die Multiplicatorbäusche einerseits, andererseits die Säulenbäusche, zwei aneinanderstofsende Seiten eines Vierecks bilden. Der eine Zuleitungsbausch des Multiplicators *M* und der gegenüberstehende der Säule *S* werden durch einen balkenförmigen Kochsalzbausch *Na Cl* verbunden. Ueber die beiden anderen Bäusche M_1, S_1 brückt man, mit jenem sich kreuzend und an der Kreuzungsstelle ihn berührend, einen zweiten balkenförmigen Bausch, der mit einer anderen Flüssigkeit, die gleichfalls keine innere Polarisation zuläfst, getränkt ist. Die ursprüngliche Gleichartigkeit des Multiplicatorkreises ist dabei, wie man sieht, eben so gesichert wie bei der Vorrichtung mit den Querbäuschen. Oeffnet man nun den Multiplicator und schliefst den Säulenkreis, so geht der Strom durch die Schenkel des Kreuzes, die dem letzteren Kreise angehören, und die Berührungsstelle der beiden ungleichartigen Bäusche, schickt aber wohl kaum Schleifen von irgend merklicher Kraft durch die beiden anderen dem Multiplicatorkreis angehörigen Schenkel. Wird darauf dieser Kreis wieder geschlossen, so erhält man einen Ausschlag, als Folge des Stromes durch die Berührungsstelle ungleichartiger Leiter. Legt man die Wippe des Stromwenders um, so erhält man den ent-

[1] Vergl. an den oben S. 394 Anm. angeführten Stellen.

Digitized by Google

sprechenden Erfolg für die andere Strömungsrichtung durch die Berührungsstelle. Der Fall ist denkbar, dafs dieser Erfolg der Richtung und Gröfse nach keineswegs stets mit dem ersten übereinstimme, und dafs man, wenn beide Berührungsstellen erst durchströmt und dann in den Multiplicatorkreis aufgenommen werden, wie es in unseren bisherigen Versuchen geschah, statt der Summe, wohl auch den Unterschied der an beiden Grenzen erzeugten Wirkungen zu sehen bekomme.

In den beiden Versuchen, die ich nach dieser Methode anstellte, blos um die Richtigkeit des Princips zu erproben, fand dies indefs nicht statt. In dem einen war der zweite Bausch SO_4H mit verdünnter Schwefelsäure getränkt, und die Berührungsstelle der Säure und der Kochsalzlösung gab einen starken negativen Ausschlag, gleichviel in welcher Richtung sie durchströmt worden war. In dem anderen war derselbe Bausch mit Brunnenwasser getränkt, und die Berührungsstelle gab für beide Strömungsrichtungen einen schwachen positiven Ausschlag. Brunnenwasser gestattet zwar das Hervortreten der inneren Polarisation des Fliefspapieres, und dieser Versuch ist also nicht tadelfrei nach der obigen Vorschrift angeordnet. Indessen verschwand unter diesen Umständen die negative Wirkung der inneren Polarisation gegen die positive an der Grenze von Wasser und Salzlösung wegen der Kürze der vom Strom im Wasserbausch durchlaufenen Strecke.

(v) Ritter'sche Ladungssäule nur aus Elektrolyten zusammengesetzt.

Während dergestalt eine einzige Berührungsstelle ungleichartiger feuchter Leiter hinreicht, die neue elektromotorische Wirkung sichtbar zu machen, bedarf es kaum der Erwähnung, dafs sich diese Wirkung, wie jede andere der Art, nach dem Grundsatze der Säulenbildung vervielfältigen läfst. Mit abwechselnden Schichten zweier Flüssigkeiten, wie Kochsalzlösung und Schwefelsäure, kann man eine secundäre Säule völlig ebenso aufbauen, wie nach Ritter mit abwechselnden Schichten eines Metalls und einer Flüssigkeit. Um dies zu zeigen, diente mir die Fig. 150 Taf. VI abgebildete Vorrichtung mit den Hülfsbäuschen und eine Anzahl runder Pappscheiben von 35^{mm} Durchmesser, wie man sie, mit irgend einer Flüssigkeit getränkt, als Zwischenleiter bei den Volta'schen Säulen alter Bauart anzuwenden pflegte. Die einen Scheiben wurden mit gesättigter Kochsalzlösung, die anderen mit verdünnter Schwefelsäure getränkt. Auf jeden der beiden Querbäusche kam zunächst eine Salzscheibe zu liegen, darauf eine Säurescheibe, dann wieder eine Salzscheibe. Die beiden obersten Salzscheiben wurden durch den Schliefsungsbausch verbunden. So stellte die Anordnung eine zweigliederige Ladungssäule

Digitized by Google

dar. Indem auf jede Hälfte derselben noch eine Säure- und eine Salzscheibe aufgelegt wurden, konnte die Zahl der Glieder immer um zwei vermehrt werden. Die Säule wurde durch fünf Secunden lange Schliefsung einer zehngliederigen Grove'schen Säule geladen. Die Prüfung geschah am Multiplicator für den Muskelstrom, dessen halbe Länge aber nur benutzt, und dessen Empfindlichkeit aufserdem noch durch Vorlegen einer Nebenschliefsung sehr vermindert wurde. Der Erfolg war, wie sich bei Gegenwart eines erheblichen aufserwesentlichen Widerstandes von selbst versteht, ein Wachsen der Stromstärke mit zunehmender Gliederanzahl der feuchten Ladungssäule. 2; 4; 6 Glieder gaben beziehlich — 3.°25; — 6°; — 10° Ausschlag im Mittel der Wirkungen nach beiden Seiten. Sehr hoch gelang es in diesem Versuch nicht, die Vervielfältigung der elektromotorischen Kraft zu treiben, indem die dünnen Pappscheiben, deren 10 auf 13''' gingen, sich dem Durcheinanderfliefsen der ungleichartigen Flüssigkeiten so wenig widersetzten, dafs, als die Säule aus 22 Gliedern bestand, ihre sechs ersten Lagen kaum noch halb so stark wirkten als ursprünglich. Innere Polarisation konnte hier beiläufig nicht mit im Spiele sein, da die Pappe mit keiner von beiden Flüssigkeiten dergleichen zeigte.

Bei einer anderen Gelegenheit stellte ich einen ähnlichen Versuch mit Pappscheiben an, die abwechselnd mit gesättigter Kochsalz- und Kalihydratlösung getränkt waren. In diesem Fall ist, wie man sich erinnert, die Ladung positiv, statt negativ, d. h. die secundär-elektromotorische Wirkung ist dem ursprünglichen Strome gleich gerichtet. Ich bediente mich der ganzen Länge des Multiplicators für den Muskelstrom, ohne Nebenschliefsung, und das Laden der secundären Säule geschah durch 20″ lange Schliefsung der dreifsiggliederigen Grove'schen Säule. 1; 2; 3 Elemente gaben beziehlich + 26°; + 35°; + 47° Ausschlag. Sehr hoch liefs sich auch hier, und aus demselben Grunde wie oben, die Vervielfältigung der secundär-elektromotorischen Kraft nicht treiben.

(VI) Von der absoluten und relativen Stärke der an der Grenze ungleichartiger Elektrolyte erzeugten secundär-elektromotorischen Kräfte.

Um von der absoluten Stärke der elektromotorischen Wirkungen, um die es sich hier handelt, einigermafsen eine Vorstellung zu geben, kann folgender Versuch dienen. Ueber die Hülfsbäusche wurde ein balkenförmiger Bausch gebrückt, der mit der verdünnten Schwefelsäure von 1.18 Dichte getränkt war. Durch diesen Bausch und die Hülfsbäusche wurde der Strom der dreifsiggliederigen Grove'schen Säule eine

Digitized by Google

Minute lang gesendet und dann die Vorrichtung durch den Multiplicator für den Muskelstrom in dem Zustande geschlossen, in dem derselbe für die Ladungssäule aus Kochsalzlösung und verdünnter Schwefelsäure benutzt worden war (S. oben). Es erfolgten 6° Ausschlag. Nachdem diese Ladung unmerklich geworden, wurde in den Multiplicatorkreis eine kleine Salpetersäure-Kalikette mit Platinelektroden aufgenommen. Obschon diese Kette den Widerstand des Kreises um ihren eigenen vermehrte, trieb sie doch die Nadel im ersten Ausschlag auf 40°. Ihre elektromotorische Kraft war also sehr viel gröfser, obschon bei der grofsen Schwingungsdauer der Multiplicatornadel freilich in Anschlag kommt, dafs die Kraft der Säure-Alkalikette beständig bleibt, während die der Ladung vom ersten Augenblick der Schliefsung des Multiplicator-, wahrscheinlich sogar der Oeffnung des Säulenkreises an, schnell abnimmt.

Liefs ich dem Multiplicator für den Muskelstrom seine volle Empfindlichkeit, so genügten 10″ Secunden Schliefsung von nur fünf Gliedern der Grove'schen Säule, um einen Ausschlag von 60° zu erzeugen, so dafs diese Wirkung bereits gewöhnlicheren Versuchsmitteln zugänglich erscheint.

Im Vergleich zur Stärke des ursprünglichen Stromes aber bleibt freilich die des secundären Stromes in demselben Kreise stets nur sehr klein. Ich habe deshalb auch noch nicht versucht, die secundär-elektromotorische Kraft an der Grenze ungleichartiger Elektrolyte durch die Veränderung der Stärke des ursprünglichen Stromes zu erkennen, wie dies für die entsprechende Kraft an der Grenze von Metallen und Elektrolyten ja nur allzuleicht gelingt. Jene grofse Schwäche der neuen hier aufgedeckten secundär-elektromotorischen Kraft macht es leicht erklärlich, weshalb dieselbe in den messenden Versuchen an Ketten mit mehreren flüssigen Leitern nicht in die Augen gefallen ist.

Ich glaube deshalb auch nicht, dafs die äufsere Polarisation an der Grenze der thierischen Theile oder der Eiweifshäutchen und der Kochsalzlösung in unseren bisherigen Versuchen je eine merkliche Wirkung ausgeübt habe. In der That sieht man, dafs dieselbe stets zugegen war, während die innere Polarisation der Bäusche durch Tränkung derselben mit einer gesättigten Kochsalzlösung zufälligerweise beseitigt war. Da, wie die Folge lehren wird, die secundär-elektromotorische Kraft der inneren Polarisation neben der des ursprünglichen Stromes keinesweges verschwindet, so könnte dies Zutreffen beim ersten Blick als ein sehr glückliches, und der Gebrauch von mit destillirtem Wasser getränkten Fliefspapierstreifen, wie sie von Matteucci zum Ableiten des Muskelstromes empfohlen werden (S. oben Bd. I. S. 229. B. II. Abth. 1. S. 151. Abth. II. S. 4), nunmehr doppelt verwerflich erscheinen. Indessen ist

Digitized by Google

zu bedenken, dafs man bei allen Multiplicatorversuchen ja noch stets die weit stärker polarisirbaren metallischen Multiplicatorenden im Kreise hat. Für den Fall aber, dafs diese aus dem Kreise verbannt wären, blieben zuletzt noch immer die thierischen Theile selber übrig, die, wie wir zum Theil schon wissen und noch genauer erfahren werden, innere Polarisirbarkeit in hohem Mafse besitzen.

(VII) Versuche zur Theorie der Polarisation an der Grenze ungleichartiger Elektrolyte.

Was die Ursache dieser neuen secundär-elektromotorischen Erscheinung betrifft, so lassen sich zwei Vermuthungen darüber aufstellen, entsprechend den beiden Wirkungen des Stromes im Inneren der Leiter, an die man dabei zunächst denken wird, seiner thermischen Wirkung nämlich und seiner elektrolytischen.

Um die Erscheinung thermisch zu erklären, müfste man erstens annehmen, dafs zwischen Elektrolyten thermoëlektrische Ströme stattfinden; was noch nicht bewiesen ist, insofern die oben S. 199 ff. beschriebenen Versuche sich nur auf poröse Körper beziehen, die mit Elektrolyten getränkt sind. Für's zweite müfste man annehmen, dafs für die Berührungsstellen zwischen ungleichartigen Elektrolyten ein ähnliches Gesetz stattfindet, wie das von Peltier für die zwischen Metallen entdeckte, dafs nämlich der Strom daselbst, je nach seiner Richtung, eine Temperaturerhöhung oder -Erniedrigung erzeugt (S. oben S. 394).

Ich habe mir, ganz unmittelbar, die Ueberzeugnng verschafft, dafs dies wenigstens nicht in leicht bemerkbarer Weise der Fall ist. Es standen mir, zu Versuchen der Art, zwei Thermometer von J. G. Greiner jun. zu Gebot durch die Güte des Dr. Traube, in dessen Besitz sie nach dem Tode meines Freundes E. Hallmann übergegangen waren. Sie sind in fünftel Grade Celsius getheilt, und der fünftel Grad ist fast 1^{mm} lang, so dafs man mit vollkommener Bequemlichkeit $^1/_{10}{}^\circ$ abliest. Ich nahm ein weites Uförmiges Rohr, füllte dasselbe zum Theil mit gesättigter Kochsalzlösung, und gofs alsdann, mittelst einer Pipette, vorsichtig verdünnte Schwefelsäure von 1.13 Dichte, die mit Lackmus gefärbt war, in den einen Schenkel. Sie blieb scharf geschieden von der Kochsalzlösung auf derselben schwimmen, und ich setzte nun einerseits die verdünnte Schwefelsäure, andererseits die Kochsalzlösung mit den beiden Zuleitungsgefäfsen der Säule in Verbindung durch weite Heberröhren, die gleich diesen Gefäfsen mit gesättigter schwefelsaurer Kupferoxydlösung gefüllt, und auf Seiten des Uförmigen Rohres mit Blase überbunden waren. Endlich senkte ich einen der oben beschriebenen Thermo-

Digitized by Google

meter so tief in den Schenkel mit der Schwefelsäure ein, dafs die scharfe Grenze zwischen Säure und Salzlösung mitten durch die Kugel ging. Nachdem das Thermometer einen ruhigen Stand angenommen hatte, sandte ich den Strom der dreifsiggliederigen Grove'schen Säule durch die Vorrichtung, immer fünf Minuten lang in der einen und fünf Minuten lang in der anderen Richtung, alle fünf Minuten den Stand des Thermometers ablesend, und so fort eine Stunde lang.

Das Ergebnifs zweier nach diesem Plan angestellten Versuche war, dafs das Thermometer fortdauernd stieg, aus unbekannten Gründen bald schneller, bald langsamer, dafs sich aber in der Reihe der Unterschiede der aufeinanderfolgenden Ablesungen durchaus kein Gesetz erkennen liefs. Die Erwärmung betrug im Ganzen nur wenige Grade; viel stärker wurden dagegen, dem Gefühl nach zu urtheilen, die mit der Kupferlösung gefüllten Verbindungsröhren erwärmt, die ohne Zweifel auch den gröfsten Widerstand darboten. Im Ganzen hatte wohl die Säule nicht die richtigen Verhältnisse, um, unter den gegebenen Umständen des Versuches, starke thermische Wirkungen zu erzeugen. Doch halte ich es nach diesen Versuchen für bewiesen, dafs, wenn an der Grenze ungleichartiger Elektrolyte eine Wirkung stattfindet, wie die von Peltier an der Grenze ungleichartiger Metalle entdeckte, diese Wirkung unter den Umständen unserer Versuche über äufsere Polarisation gänzlich verschwindend war, und dafs die thermische Hypothese über die Ursache der äufseren Polarisation der feuchten Leiter somit jeder erfahrungsmäfsigen Grundlage entbehrt.

Es liegt denn auch wohl unstreitig von vorn herein näher, diese neue Art der Polarisation in Beziehung zu setzen zur elektrolytischen Wirkung des Stromes, auf der ja auch die Polarisation der metallischen Elektroden beruht. Indem der Strom die Grenze zweier ungleichartigen Elektrolyte überschreitet, mufs er, nach v. Grotthuss' Lehre (S. oben Abth. I. S. 322. 323), die elektropositiven Bestandtheile der Flüssigkeit, die er verläfst, den elektronegativen Bestandtheilen der Flüssigkeit, in die er eintritt, zukehren, beide freimachen, und die freigewordenen zur Verbindung antreiben, wenn dieselbe möglich ist. So kann zwischen den beiden Flüssigkeiten eine Schicht einer dritten entstehen, und die Möglichkeit elektromotorischer Wirkungen liegt am Tage. Es ist klar, dafs jene Schicht die Dauer des Stromes, der sie in's Dasein rief, einige Zeit wird überdauern können, und dafs sie um so massenhafter entwickelt, und folglich um so länger und innerhalb gewisser Grenzen um so stärker elektromotorisch wirksam sein wird, je gröfser Stärke und Dauer des ursprünglichen Stromes.

Die Erzeugung einer solchen Zwischenschicht durch den Strom ist

Digitized by Google

aber insofern keine bloſse Vermuthung, als ich diese Schicht wenigstens in Einem Falle thatsächlich habe nachweisen können. Man brückt über die mit gesättigter Kochsalzlösung getränkten Querbäusche (Fig. 150) einen mit destillirtem Wasser getränkten balkenförmigen Bausch, gleich als ob man die Polarisation an der Grenze beider Flüssigkeiten beobachten wollte. Der Wasserbausch ist aber an den Stellen, wo er die Querbäusche berührt, mit veilchenblauem Lackmuspapier bekleidet. Läſst man den Strom der dreiſsiggliederigen Grove'schen Säule einige Zeit hindurchgehen, so findet man, daſs das Lackmuspapier da, wo der Strom aus dem Salz- in den Wasserbausch tritt, eine deutliche blaue, da hingegen, wo er den Wasser- für den Salzbausch verläſst, eine etwas minder ausgesprochene rothe Färbung angenommen hat.[1] In der That trifft an der ersten Stelle das mit dem positiven Strom wandernde Natrium den gegen denselben wandernden Sauerstoff, der von der Zersetzung des Wassers herrührt, und muſs damit Natron bilden; während das elektronegative Chlor an der anderen Grenze mit dem Wasserstoff Chlorwasserstoffsäure bildet. Das Natron und die Chlorwasserstoffsäure aber finden keine elektronegativen und -positiven Stoffe, mit denen sie sich verbinden könnten, und treten deshalb aus dem elektrochemischen Spiel der Molekeln aus, indem sie ihre Ladung beziehlich dem Wasserstoff und Sauerstoff übergeben.

Es ist hiernach wohl sehr wahrscheinlich, daſs mit der gegebenen Erklärung der Polarisation an der Grenze feuchter Leiter im Allgemeinen das Rechte getroffen sei. Damit stimmt auch das Verhalten der zwischen gesättigte Kochsalzlösung gebrachten gesättigten neutralen Salzlösungen, Salpeterlösung und schwefelsaurer Kupferoxydlösung, insofern die Wirkung an ihrer Grenze fast unmerklich war. Was nun hier zunächst zu

[1] Humphry Davy kam durch seine Versuche zu dem Ergebniſs, daſs die übergeführten sauren und alkalischen Bestandtheile unterweges nicht auf reagirende Papiere wirken. (Philosophical Transactions for the Year 1807. P. I. p. 22;* — Gilbert's Annalen der Physik. 1808. Bd. XXVIII. S. 30—32;* — Fechner, Lehrbuch des Galvanismus und der Elektrochemie u. s. w. 1829. S. 361.*) Ich weiſs meinen Versuch mit den seinigen nicht in Einklang zu bringen, dagegen sehe ich darin einen neuen Fall der Ausscheidung der Ionen in der Strombahn anderwärts als an der Grenze metallischer Leiter, der sich an die beiden bereits von Faraday hervorgehobenen Fälle anschlieſst, wo Ausscheidung stattfindet erstens gegen Luft (Experimental Researches in Electricity. Reprinted from the Philosophical Transactions. London 1839. vol. I. p. 130. 142. Series V. June 1833. No. 461—470. 497. 498;* — Poggendorff's Annalen u. s. w. 1834. Bd. XXXII. S. 405. 422;* — Henrici, ebendas. 1839. Bd. XLVII. S. 437*), zweitens unter besonderen Umständen auch gegen Wasser, wenn nämlich das Ion darin unlöslich ist, wie z. B. Magnesia. (Experimental Researches etc. l. c. p. 140. No. 493—498. p. 154. No. 533;* — Poggendorff's Annalen u. s. w. a. a. O. S. 419. 440. — Leopold Gmelin, ebendaselbst 1838. Bd. XLIV. S. 28. 29.*)

Digitized by Google

thun sein würde, um die angedeutete Theorie etwas näher auszuführen, möchte etwa folgendes sein. Man müfste versuchen nachzuweisen, dafs, wenn man eine Kette aus mehreren feuchten Leitern so anordnet, wie sie, nach unserer Voraussetzung, der Strom in einem bestimmten Falle vorübergehend erzeugen mufs, man dieselbe Strömungsrichtung erhält, welche die Polarisation in jenem Falle zeigt. Natürlich müfste man zu dieser Prüfung solche Zusammenstellungen feuchter Leiter wählen, bei denen es möglich ist, mit hinreichender Sicherheit die Natur der durch den Strom bedingten Veränderungen an der Grenze der verschiedenen Leiter zu beurtheilen. Man müfste ferner, um die Dinge möglichst zu vereinfachen, sich an den Vorgang an nur einer, erst in der einen, dann in der anderen Richtung, durchströmten Grenze halten, wobei man auf die oben S. 412 beschriebene, in Fig. 157 versinnlichte Art zu verfahren haben würde, die an das Peltier'sche Kreuz erinnert. Den Erfolg bei beiden Strömungsrichtungen hätte man alsdann einzeln durch Ketten aus mehreren flüssigen Leitern nachzuahmen. Gelänge dies, so, sieht man, würde damit für die Polarisation an der Grenze feuchter Leiter dasselbe geleistet sein, was für die Polarisation in Wasser befindlicher Elektroden durch den Versuch, in welchem von zwei ursprünglich gleichartigen Platinplatten die eine positiv gegen die andere gemacht wird dadurch, dafs man sie beziehlich in Wasserstoff und Sauerstoff taucht.

Ich habe in dieser Richtung erst einen und zwar nicht glücklichen Versuch angestellt. Unter den oben S. 404 aufgeführten Zusammenstellungen feuchter Leiter, an deren Grenze wir die Polarisation beobachteten, finden sich nur wenige hinreichend einfache, um den Erfolg der Durchströmung im Voraus bestimmen und künstlich nachbilden zu können. Am meisten schien sich dazu noch der oben bereits zergliederte Fall von Wasser zwischen Kochsalzlösung zu eignen, wo nach Theorie und Versuch die Wirkung des Stromes darauf hinauszulaufen scheint, dafs da, wo er aus dem Salz in das Wasser tritt, Natron, hingegen wo er aus dem Wasser in das Salz tritt, Chlorwasserstoffsäure frei wird. Diese Wirkung ist leicht nachzuahmen.

Ich verband die Zuleitungsgefäfse mit der halben Länge des Multiplicators für den Muskelstrom, und versah ihre Zuleitungsbäusche mit Sicherheitsbäuschen. Auf den einen Sicherheitbausch legte ich einen ähnlichen, mit Chlorwasserstoffsäure getränkten Bausch und verband ihn mit dem anderen Sicherheitsbausch durch einen balkenförmigen Wasserbausch. Die Säure hatte in verschiedenen Versuchen verschiedene Concentrationsgrade. Ich versuchte nacheinander die käufliche Säure, dann dieselbe mit 10, 20, 30 Raumtheilen Wassers verdünnt. Bei einer anderen Versuchsreihe liefs ich den Säurebausch fort, und betupfte nur den

Digitized by Google

Wasserbausch an der Stelle, wo er den Sicherheitsbausch berühren sollte, mit einem in die käufliche Säure getauchten Glasstabe. In allen Fällen erfolgte ein starker Strom von der Säure zum Wasser in der Flüssigkeit, also im umgekehrten Sinne eines Stromes, der an der Grenze von Salz und Wasser Säure erzeugt haben würde, oder, wenn man sich die Säure dergestalt durch einen voraufgegangenen Strom entwickelt vorstellt, negativer Polarisation entsprechend.

Dieselbe Versuchsreihe, mit den nämlichen Abänderungen, wurde mit Natronlauge angestellt. Der Strom ging unabänderlich vom Wasser zum Natron, abermals negativer Polarisation entsprechend.

Zum Ueberfluſs wiederholte ich auch noch den Versuch mit Säure und Natron zugleich an beiden Enden des Wasserbausches, ebenfalls mit mehreren Abänderungen in Bezug auf Concentration der beiden wirksamen Flüssigkeiten und auf die Menge, in der sie zwischen den Salz- und Wasserbausch gebracht wurden. Unabänderlich aber ging der Strom von der Säure durch das Wasser zum Natron, also fort und fort negativer Polarisation entsprechend.

Die beiden ersten Versuche ahmten, wie man bemerkt hat, die oben S. 412 beschriebene, dem PELTIER'schen Kreuz verwandte Anordnung nach, wo nur eine der beiden Berührungsstellen durchströmt wird; der letztere hingegen diejenige Anordnung, bei der die beiden, Kochsalz enthaltenden Hülfsgefäſse mit einer Heberröhre voll Wassers überbrückt wurden (S. oben S. 404). In allen diesen Fällen war die von uns wirklich beobachtete Polarisation rein positiv, sobald die innere Polarisation des Fliefspapieres aufser Spiel gebracht war. Die obigen Erfolge sind also in gar keinem Einklang mit denen, die sie erläutern sollen.

Befremdend ist denn auch, vom Standpunkt der obigen Theorie aus, der Mangel an Uebereinstimmung zwischen der elektrochemischen Beschaffenheit der Flüssigkeiten und der Richtung, in der sie, zwischen Kochsalzlösung durchströmt, secundär-elektromotorisch wirken. Unter den Flüssigkeiten, die negative Polarisation gaben, befinden sich saure, neutrale und alkalische; unter den positiv wirksamen gleichfalls neutrale und alkalische.

Ein Punkt, der hier wohl ferner zu Versuchen auffordern würde, ist der Mechanismus des Abgleichens der äufseren Polarisation der Elektrolyte. Bei negativer secundär-elektromotorischer Kraft zwar ist es hier wie bei der Polarisation metallischer Elektroden einsichtlich, dafs die Ionen sich in dem durch sie erzeugten secundären Strom wieder verzehren werden. Bei positivem Vorzeichen jener Kraft dagegen scheint es, als ob der secundäre Strom fortfahren müfste, Ionen in demselben Sinne anzuhäufen, so dafs, wenn nicht die Diffusion stärker auf Zer-

Digitized by Google

streuung der Ionen hinwirkte, die einmal durch den ursprünglichen Strom gebildete Zwischenschicht immerfort müfste bestehen bleiben.

Indessen habe ich diese Untersuchung nicht weiter verfolgt. Mein Interesse daran durfte zunächst nur ein praktisches sein, und mufste zurücktreten, sobald ich die Natur der Erscheinung genau genug ermittelt hatte, um deren Einflufs bei den eigentlich hier beabsichtigten Versuchen beurtheilen und denselben gelegentlich unschädlich machen zu können. So weit sind wir aber jetzt gelangt, und ich habe deshalb auch die mannigfachen anderen Fragen, die sich hier aufdrängen, vor der Hand unbeantwortet gelassen. Ich habe mich deshalb auch auf die geringe Anzahl der oben angeführten Zusammenstellungen von Flüssigkeiten beschränkt, bei denen allen gesättigte Kochsalzlösung die eine Flüssigkeit abgab. Möglich, dafs man, bei Vervielfältigung der Versuche, auf noch viel wirksamere Anordnungen stofsen würde, als die welche sich uns dargeboten haben. Von Wichtigkeit würde es gewesen sein, den Einflufs der Temperatur und der Stromdichte auf die neue Art der Polarisation zu erforschen. Im Allgemeinen jedoch ist zu bezweifeln, dafs man hier zu befriedigenden Aufschlüssen gelange, ehe nicht die Lehre von der Elektrolyse und die von den Ketten aus mehreren flüssigen Leitern etwas weiter gediehen sind. Vielleicht ist es auch dem von Wiedemann[1] so erfolgreich begonnenen Studium der Fortführungserscheinungen durch den elektrischen Strom vorbehalten, hier einiges Licht zu verbreiten.

Schliefslich erwähne ich noch, dafs, was wir hier als Polarisation an der Grenze ungleichartiger feuchter Leiter bezeichnet haben, nicht zu verwechseln ist mit Schoenbein's sogenannter Polarisirung flüssiger Leiter. Diese beruht nämlich auf einer durch gewöhnliche Ausscheidung von Ionen an metallischen Elektroden bewirkten Ungleichartigkeit verschiedener Theile einer ursprünglich gleichartigen Flüssigkeitsmasse, und giebt sich dadurch zu erkennen, dafs beim Eintauchen neuer gleichartiger Elektroden in diese verschiedenen Theile ein Strom von umgekehrter Richtung des ursprünglichen entsteht.[2]

[1] Monatsberichte der Königl. Preufsischen Akademie der Wissenschaften. März 1852. S. 151;* — Poggendorff's Annalen u. s. w. 1852. Bd. LXXXVII. S. 321;* — Raoult, Comptes rendus etc. 9 Mai 1853. t. XXXVI. p. 826;* — Archives des Sciences physiques et naturelles etc. 1853. t. XXIII. p. 179.*

[2] Van Beck, Annales de Chimie et de Physique etc. Mai 1828. t. XXXVIII. p. 49;* — Poggendorff's Annalen u. s. w. 1828. Bd. XII. S. 274;* — Schoenbein, Comptes rendus etc. 22 Octobre 1838. t. VII. p. 741;* — ibid. 17 Décembre. p. 1065;* — L'Institut. 1838. t. VI. No. 260. p. 414;* — No. 252. p. 345;* — Poggendorff's Annalen u. s. w. 1839. Bd. XLVI. S. 118;* — XLVII. S. 101;* — The Philosophical Magazine etc. New Series. 1839. vol. XIV. p. 43;* — Bibliothèque universelle etc. Nouvelle Série. 1839. t. XVIII. p. 173.* — S. auch Peltier, Comptes rendus etc.

Digitized by Google

4. Erwägung der Sachlage mit Rücksicht auf die neuerkannte Polarisation an der Grenze ungleichartiger Elektrolyte, und dadurch bedingte Abänderung der zur Untersuchung der secundär-elektromotorischen Wirkungen der thierischen Theile bestimmten Vorrichtung.

Nehmen wir jetzt den Faden unserer Untersuchung wieder auf. Sie war gerichtet auf die Erforschung der positiven secundär-elektromotorischen Wirkungen, welche wir unter gewissen Umständen von den Muskeln erhalten hatten. Wir hatten eine Vorrichtung ersonnen zum Zweck, die thierischen Theile dem erregenden Strom auszusetzen und die etwa erfolgenden secundär-elektromotorischen Wirkungen zu beobachten, ohne jene Theile zwischen den Multiplicatorenden zu verrücken. Bei der Prüfung dieser Vorrichtung auf ihre Brauchbarkeit war es, dafs wir auf die Polarisation an der Grenze ungleichartiger feuchter Leiter stiefsen. Wie man sich leicht denken mag, kann diese Entdeckung nicht verfehlen, auf die Sachlage der gegenwärtigen Untersuchung einen erheblichen Einfluſs auszuüben. Ja es fragt sich geradezu, wie viel denn nun noch von unseren früheren Beobachtungen stehen bleibe.

Es ist klar, dafs nur diejenigen darunter jetzt noch für tadelfrei gelten können, bei denen keine durchströmte Grenze ungleichartiger Elektrolyte in den Multiplicatorkreis aufgenommen wurde. Diese Bedingung findet sich aber in jenen Beobachtungen einzig und allein für die negativen Wirkungen der Muskeln wegen innerer Polarisation erfüllt, indem bei diesen der secundäre Strom auch von anderen Stellen abgeleitet wurde als von solchen, durch die der ursprüngliche Strom zugeführt worden war. Dank diesem Umstande können wir es also noch für bewiesen ansehen, dafs das Muskelfleisch mit innerer Polarisirbarkeit begabt ist.

Was aber die positiven Wirkungen der durchströmten Muskeln betrifft, um deren willen wir uns in diese Untersuchung eingelassen haben, so sind sie bisher nur ganz roh mittelst der Methode des Uebertragens beobachtet worden, wobei die Ableitung des secundären Stromes im Allgemeinen von denselben Stellen stattfindet, durch die der ursprüngliche Strom eintrat. Erinnert man sich ferner, dafs wir an den durchströmten thierischen Gliedern bereits, wie an den durchströmten Bäuschen, Spuren der Ausscheidung von Zersetzungsstoffen an den Ein- und Austrittsstellen des Stromes wahrnahmen, und endlich, dafs Wasser und Hühner-

29 Octobre 1838. t. VII. p. 763;* — L'Institut. 1838. t. VI. No. 253. p. 356*; — Notice sur la Vie et les Travaux scientifiques de Peltier etc. Paris 1847. p. 112.*

Digitized by Google

eiweifs zwischen Kochsalz positive äufsere Polarisation zeigten; so hat es jetzt freilich den Anschein, als ob sich jene positiven Wirkungen, statt als eine neue den Muskeln eigenthümliche elektromotorische Wirkung, nur noch einfach als äufsere Polarisation der Muskeln zwischen Kochsalz erweisen würden.

Indessen giebt es andererseits auch wieder Gründe, welche gegen einen solchen Ursprung der besagten positiven Wirkungen sprechen. So wurde dadurch, bei Anwendung nur weniger Grove'schen Glieder, und nach wenigen Secunden Durchströmung, die Nadel des Multiplicators für den Muskelstrom an die Hemmung geführt. Sie sind also beträchtlich stärker als die Wirkungen wegen äufserer Polarisation sich gewöhnlich darstellen. Sodann würde, wenn dies ihre Natur wäre, ganz räthselhaft bleiben, dafs sie mit dem Verlust der Lebenseigenschaften aufhören.

Wir haben also Grund, dennoch in dem Unternehmen zu beharren, diese, dem Lebenszustand angehörigen positiven Wirkungen genauer zu verfolgen. Allein die Vorrichtung, mit der wir oben S. 388 glaubten diesen Zweck erreichen zu können, zeigt sich ihm jetzt nicht mehr entsprechend. Wir wissen nun, dafs wir bei der Anwendung der mit Kochsalzlösung getränkten Querbäusche, wie sie damals beabsichtigt wurde, stets die Polarisation an der Grenze der Salzlösung und der thierischen Theile oder der Eiweifshäutchen, die zwischen den beiden letzteren für Null gerechnet, mit im Spiel haben würden. In vielen Fällen dürfte diese Störung allerdings unmerklich sein; dennoch müssen wir um jeden Preis bemüht sein, die daraus erwachsende Unsicherheit zu beseitigen.

Die Versuchsweise, die wir im Vorigen angewendet haben, um die äufsere Polarisation an durchströmten Bäuschen aufser Spiel zu bringen, bestand darin, die Hülfsbäusche, wodurch diese einerseits mit den Säulen-, andererseits mit den Multiplicatorbäuschen in Verbindung standen, statt mit Salzlösung, mit derselben Flüssigkeit zu tränken, die der durchströmte Bausch enthielt. Indem dieser Gedanke mit Bäuschen auf die einfachste Art verwirklicht wurde, entstand was wir die Hförmige Anordnung dreier balkenförmiger Bäusche genannt haben (S. oben S. 408. Fig. 154. Taf. VI). Ich brauche nicht zu sagen, dafs zur Ausführung mit Muskeln und Nerven statt mit Bäuschen diese Anordnung nicht geeignet ist. Wohl aber könnte man daran denken, von demselben Versuchsplan ausgehend, die ursprüngliche, zur Erforschung thierischer Theile bestimmte Vorrichtung, aus der die Hförmige Anordnung entsprungen ist, dahin abzuändern, dafs die Querbäusche statt mit Kochsalzlösung, mit Eiweifs oder Blutserum getränkt würden, indem anzunehmen ist, dafs an der Grenze dieser Flüssigkeiten und der thierischen Theile keine merkliche Polarisation stattfinde. Leider aber zeigt, wie

Digitized by Google

wir in Erfahrung gebracht haben, das Fliefspapier bei Tränkung mit Hühnereiweifs innere Polarisirbarkeit. Man würde also, bei diesem Verfahren, nur das eine Uebel mit dem anderen vertauscht haben.

Es bleibt demnach nichts übrig, als auf eine andere Art zu sinnen, die äufsere Polarisation aus dem Spiel zu bringen. Dies geschieht am einfachsten, bequemsten und sichersten offenbar dadurch, dafs der secundäre Strom von anderen Stellen der Oberfläche der thierischen Theile abgeleitet wird als denen, durch die der ursprüngliche zugeführt wurde, während die thierischen Theile ebenso, wie bei der früher beabsichtigten Versuchsweise, in unverrückter Berührung mit den Säulen- und Multiplicatorbäuschen verharren. Dies setzt, wie man sieht, voraus, dafs man den thierischen Theilen, behufs des Zu- und Ableitens von Strömen, an vier Stellen zugleich beikommen könne, und folglich, in Anbetracht der häufig nur geringen Ausdehnung jener Theile, besondere Einrichtungen, um entweder den Strom nur einem möglichst beschränkten Punkt ihrer Oberfläche zuleiten, oder das elektromotorische Verhalten eines einzelnen solchen Punktes ermitteln zu können.

Eine in technischem Bezuge ähnliche Aufgabe haben wir bereits im Beginn dieser Untersuchungen (S. oben Bd. I. S. 223. 507. 508 und dazu Fig. 37. Taf. IV desselben Bandes) gelöst, als es sich darum handelte, das elektromotorische Verhalten der verschiedenen Punkte des künstlichen Querschnittes der Muskeln zu ermitteln. Damals gaben wir den spitzen Hülfsbäuschen, deren wir uns bedienten, nur wenige Lagen, und legten sie entweder auf die Oberfläche der Zuleitungsbäusche oder klemmten sie zwischen deren Lagen ein. Diese Einrichtung leidet indefs an dem Uebelstand, dafs die Hülfsbäusche sich zu leicht verschieben, oder wohl gar herunterfallen; sie haben nicht die gehörige Steifigkeit; ihre Spitzen biegen sich bereits unter einem leichten Druck, oder sinken im durchtränkten Zustande wohl gar durch die Schwere allein herab; endlich lassen sie sich nicht gehörig mit Eiweifshäutchen bekleiden, und wollte man sie selber mit Eiweifs tränken, so würden sie einen zu grofsen Widerstand darbieten.

Die in Fig. 158 *A.* Taf. VI dargestellte Gestalt der Vorrichtung ist frei von diesen Mängeln und mehr geeignet für die mannichfaltigen Anwendungen, die wir jetzt daran zu machen haben werden. Der Hülfsbausch selbst besteht aus einer hinreichend grofsen Anzahl von Fliefspapierlagen, um ihm die erforderliche Steifheit zu verleihen. Er läuft aus in eine senkrechte keilförmige Schneide, welche sich sehr dazu schickt, das elektromotorische Verhalten einzelner Stellen eines wagerecht ausgespannten Muskels oder Nerven zu erforschen, und von der er den Namen Keilbausch erhält. Um den Keilbausch an den Zuleitungsbausch zu be-

Digitized by Google

festigen, habe ich zwei Methoden. Entweder ich durchbohre letzteren mit einem Spitzbohr an zwei Stellen, und ziehe durch die Löcher Fäden, mittelst deren ich den Keilbausch am Zuleitungsbausch unverrückbar festbinde. Oder ich durchbohre beide mit einem Locheisen, was im durchtränkten Zustande der Bäusche sehr gut gelingt, und stecke durch die Löcher einen mit starker Reibung darin beweglichen, aus einem Thermometerrohr verfertigten gläsernen Nagel, der in Fig. 158 *B* in halber natürlicher Gröfse abgebildet ist. Diese Methode hat vor der ersten den Vorzug, dafs man den Keilbausch vom Zuleitungsbausch leicht entfernen und ihn wieder daran anbringen kann, wie auch dafs der Keilbausch um den gläsernen Stift als senkrechte Axe beweglich bleibt und so verschiedene Stellungen erhalten kann.

Wir wollen nun zusehen, ob diese Vorrichtung im Stande ist, uns vor der Einmischung der äufseren Polarisation in unsere Ergebnisse zu sichern. Zu diesem Zweck denke man sich die beiden Zuleitungsbäusche der Säule mit einem balkenförmigen Bausch überbrückt, der mit irgend einer Flüssigkeit getränkt ist, welche keine innere Polarisation gestattet, deren Grenze gegen Kochsalzlösung aber der Sitz einer lebhaften äufseren Polarisation zu werden vermag, also z. B. mit verdünnter Schwefelsäure, mit concentrirter Kalihydratlösung. An zwei Punkte der Länge des so durchströmten Bausches seien die Schneiden der Keilbäusche angelegt. Damit die Schneiden nicht mit der Flüssigkeit des durchströmten Bausches verunreinigt werden, sind sie mit einigen Lagen Fliefspapier bekleidet, das mit gesättigter Kochsalzlösung getränkt ist. Ist der Multiplicatorkreis offen und sind dessen Zuleitungsgefäfse wohl von einander isolirt, so hat der durch den Bausch kreisende Strom der Säule in den Keilbäuschen offenbar nichts zu suchen. Wird nachmals der Säulenkreis geöffnet, der Multiplicatorkreis geschlossen, so enthält also letzterer keine während des Säulenschlusses durchströmt gewesene Berührungsstelle ungleichartiger feuchter Leiter. Demgemäfs bleibt auch bei 15″ Schlufs der dreifsiggliederigen Grove'schen Säule die Nadel völlig unbewegt. Zerschneidet man aber den Schwefelsäure- oder Kalibausch zwischen den Schneiden der Keilbäusche, rückt die beiden Hälften mit den daran liegenden Schneiden auseinander und füllt die Lücke mittelst eines Kochsalzbausches aus, so erhält man, trotz dem vermehrten Widerstande, im ersten Falle Anschlagen an die negative, im letzteren an die positive Hemmung, weil nun der Multiplicatorkreis, bei seiner Schliefsung nach Oeffnung des Säulenkreises, wieder Berührungsstellen ungleichartiger feuchter Leiter enthält, die während des Schlusses des Säulenkreises durchströmt waren.

Vielleicht ist es richtiger, sich den Vorgang in diesem Versuch so

Digitized by Google

zu denken, dafs der Strom etwas in die Schneide eines jeden Keilbausches einbiegt, um darin eine Schleife zu bilden, und sie alsbald wieder zu verlassen. Dann würden die Berührungsflächen der Schneiden und des durchströmten Bausches, die sich nachher im Multiplicatorkreise befinden, in der That durchströmt sein, allein nur von einer sehr kleinen Elektricitätsmenge, und zwar von dieser in beiden Richtungen. Die Summe der elektromotorischen Wirkungen, welche an einer so durchströmten Berührungsstelle hinterbleiben, wird demnach Null, oder wenigstens sehr nahe Null sein müssen (Vergl. oben S. 408).

Tränkt man bei dieser Versuchsweise den durchströmten Bausch mit Brunnen- oder destillirtem Wasser oder mit Hühnereiweifs, so erhält man eine starke, rein negative Wirkung wegen innerer Polarisation, wie bei der Hförmigen Anordnung. Doch darf man, bei allen diesen Versuchen, die Berührung der Keilbäusche mit dem durchströmten Bausch nicht zu lange fortsetzen. Alsdann nämlich dringt Kochsalzlösung aus den ersteren Bäuschen in den letzteren ein, und der Erfolg ist derselbe, als hätte man den durchströmten Bausch an zwei Stellen, entsprechend den Schneiden der Keilbäusche, zerschnitten, und Kochsalzbäusche zwischen seine beiden äufseren Stücke und das mittlere eingeschaltet. In Folge davon mischt sich die äufsere Polarisation zwischen Kochsalz und der Flüssigkeit, mit der der Bausch getränkt ist, in das Ergebnifs ein, und ändert dasselbe in den einzelnen Fällen so ab, wie man leicht aus dem Vorhergehenden entnehmen kann. Also z. B. mit Schwefelsäure erfolgt allerdings bei sehr langer Durchströmung eine negative, mit Kalihydratlösung eine positive, mit Wasser eine doppelsinnige Wirkung u. s. f. Doch ist leicht zu zeigen, dafs dies wirklich von dem Eindringen der Kochsalzlösung herrührt, und nicht etwa von einer der Vorrichtung wesentlich anhaftenden Unvollkommenheit, vermöge welcher sie die äufsere Polarisation nicht völlig auszuschliefsen im Stande wäre. Dies ergiebt sich daraus, dafs die Wirkung im Sinn der äufseren Polarisation sich nicht einstellt, wenn man die Schneiden der Keilbäusche mit einer hinreichend dicken Lage Fliefspapier bekleidet, das mit derselben Flüssigkeit getränkt ist, wie der durchströmte Bausch; ferner daraus, dafs, wenn in Folge langer Berührung des durchströmten Bausches mit den Schneiden der Keilbäusche die Zeichen äufserer Polarisation sich einmal eingestellt haben, man dieselben auch bei kurzer Durchströmung erhält, wo sie vorher nicht erschienen; endlich daraus, dafs man den fraglichen Zustand auch leicht und schnell dadurch herbeiführen kann, dafs man den durchströmten Bausch zwischen den Schneiden der Keilbäusche entweder mit einem Salzbausch dauernd berührt, so dafs dessen Lösung in den durchströmten Bausch eindringen kann, oder auch nur mittelst eines

Digitized by Google

Pinsels oder Glasstabes mit Salzlösung betupft. Auf diese Art gelingt es aber sogar bei der die äufsere Polarisation gewifs ganz sicher ausschliefsenden Hförmigen Anordnung, Zeichen äufserer Polarisation zu erhalten; bei absichtlicher Verunreinigung des Querstückes des aus Kochsalzbäuschen gebildeten H's nämlich mit verdünnter Schwefelsäure negative, mit Kalilauge positive Wirkung; doppelsinnige Wirkung dagegen, wenn das Querstück eines aus Wasser gebildeten H's mit Kochsalzlösung benetzt wird.

Diese Versuche lehren, dafs die neue Art den ursprünglichen Strom dem Bausche zu-, den secundären davon abzuleiten, völlig dieselben Dienste leistet, wie die Hförmige Anordnung. Dabei bietet sie den Vortheil, dafs man mit ihrer Hülfe leicht die Vertheilung der secundärelektromotorischen Kräfte in dem durchströmten Körper untersuchen kann, wie sie oben S. 380 vermuthungsweise hingestellt worden ist. Dieses Verfahren werden wir jetzt auf die thierischen Theile anwenden. Man hat sich dieselben im Allgemeinen, an Stelle des durchströmten Bausches in den vorigen Versuchen, zwischen den Zuleitungsbäuschen der Säule angebracht, und die Schneiden der Keilbäusche an zwei dazwischen befindlichen Punkten ihrer Länge angelegt zu denken. Das Nähere wird später, bei den einzelnen Versuchen, mitgetheilt werden. Die Schneiden der Keilbäusche werden dazu, wie Fig. 158 zeigt, mit Eiweifshäutchen bekleidet. Die Federkraft der Blase widersetzt sich zwar der Beugung in einen so spitzen Winkel. Allein es gelingt sie zu überwinden, indem man die Eiweifshäutchen länger macht als gewöhnlich (S. oben Bd. I. S. 223) und dadurch die Kraft vermehrt, mit der sie den seitlichen Flächen des Keilbausches anhaften. Die Eiweifshäutchen erfüllen hier übrigens noch einen anderen Zweck. Indem sie wie sonst das Anätzen der thierischen Theile durch die Salzlösung verhindern, beugen sie nämlich zugleich dem Auftreten äufserer Polarisation bei längerer Berührung der Keilbäusche mit den thierischen Theilen in der eben erläuterten Art vor. Aus diesem Grunde ist es rathsam, die Keilbäusche stets mit doppelten Eiweifshäutchen zu bekleiden.

Und somit wären wir so weit gelangt, dafs wir nunmehr endlich mit Sicherheit an die Erforschung der oftерwähnten positiven Wirkungen durchströmter Muskeln gehen könnten. Allein es ist zuvor noch etwas anderes zu erwägen. Durch unsere Beobachtungen über die Polarisation an der Grenze ungleichartiger Elektrolyte sind, wie oben S. 423 auseinandergesetzt wurde, die älteren Versuche über innere Polarisirbarkeit entwerthet. Obschon sich Gründe für das Gegentheil anführen lassen, wäre es doch möglich, dafs die negativen Wirkungen des Holzes und der Froschhaut, die wir innerer Polarisation zuschrieben, von äufserer

Digitized by Google

Polarisation herrührten. Von der positiven Wirkung des elastischen Gewebes ist dies jetzt sogar äufserst wahrscheinlich. Somit ist das einzige Beispiel innerer Polarisirbarkeit, welches wir mit Gewifsheit aufser den Muskeln kennen, das der Fliefspapierbäusche, die wir in der vorigen Nummer untersucht haben, und zwar nur in dem Fall, wo dieselben mit gewissen, grofsentheils minder gut leitenden Flüssigkeiten getränkt waren.

Man sieht, dafs wir uns hier, wo die innere Polarisirbarkeit von solcher Bedeutung zu werden verspricht, nicht füglich mit einer so unvollkommenen Kenntnifs dieser Erscheinung begnügen können. Das Nächste, was uns demnach jetzt zu thun obliegt, ist die Untersuchung poröser, mit verschiedenen Flüssigkeiten getränkter Körper, ja, wovon sich die Nothwendigkeit ergeben wird, sogar ganz flüssiger Körper, auf innere Polarisation gleich der der Muskeln und des Fliefspapieres, unter Berücksichtigung der neuerkannten Polarisation an der Grenze feuchter Leiter.

Es versteht sich von selbst, dafs die Vorrichtungen und Versuchsweisen, die im Vorigen zur sicheren Erforschung der mehrerwähnten positiven Wirkungen durchströmter Muskeln ersonnen wurden, unmittelbar für die hier beabsichtigte Versuchsreihe tauglich sind. Um irgend welche poröse, mit feuchten Leitern getränkte Körper auf innere Polarisirbarkeit zu untersuchen, ohne Gefahr zu laufen, durch die Polarisation an der Grenze feuchter Leiter getäuscht zu werden, brauchen wir nur damit in der nämlichen Weise zu verfahren, wie es oben mit den balkenförmigen durchströmten Bäuschen geschehen ist. Wir stellen also entweder die Hförmige Anordnung her, oder, wo dies durch die Natur des porösen Körpers untersagt ist, wir führen demselben den ursprünglichen Strom an zwei Punkten mittelst der Zuleitungsbäusche der Säule zu, und leiten den erregten Strom an zwei anderen Punkten mittelst der Keilbäusche als Multiplicatorenden davon ab.

Schliefslich mufs hier noch eines Mittels gedacht werden, wodurch die Hförmige Anordnung eine ausgedehntere Anwendbarkeit erhält, indem dasselbe erlaubt, diese Anordnung auch mit flüssigen und halbflüssigen Körpern in's Werk zu setzen. Mit flüssigen Körpern ist dies zwar bereits oben S. 404 von uns geschehen, in der Fig. 153 abgebildeten Vorrichtung mit den Hülfsgefäfsen, welche, mit der betreffenden Flüssigkeit gefüllt, durch Röhren, die dieselbe Flüssigkeit enthielten, untereinander und mit den Zuleitungsgefäfsen der Säule und des Multiplicators in Verbindung standen. Viel einfacher aber wird dieser Zweck erreicht mit Hülfe einer Hförmigen Guttapercharinne, deren Querschnitt ein Quadrat von 15^{mm} Seite darstellt, und deren Seitenstücke, den senkrechten Grundstrichen oder

Digitized by Google

Schenkeln des H's entsprechend, 80 ‴ messen, während das Querstück, zwischen den inneren Wänden der Schenkel, 40 ‴ lang ist. Die vier Enden der Rinne haben einen nach aufsen umgebogenen Rand, so dafs man sie mit feuchter Blase überbinden kann. So ist die Rinne fertig, um, wagerecht aufgestellt, Flüssigkeiten aufzunehmen, und mit ihren vier Enden die vorderen Flächen der beiden Paar Zuleitungsbäusche zu berühren. Bei halbflüssigen Körpern, etwa von Salbenconsistenz, kann Fliefspapier, welches man mit Kitt oder Kautschukringen befestigt, mit Vortheil die Blase ersetzen. Das Nähere von der Anwendung dieses Guttapercha-H's wird sich bei den einzelnen Versuchen ergeben, zu denen wir nun endlich schreiten.

5. Von der inneren Polarisirbarkeit poröser Körper im durchtränkten Zustande.

Die folgenden Ermittelungen sind anzusehen als eine mit vertiefter Einsicht und vervollkommneter Technik begonnene Wiederaufnahme der oben Bd. I. S. 376 nur flüchtig angestellten Untersuchung über die Peltier'sche Ladung, deren Ergebnisse oben S. 378 zusammengestellt sind.

Das Ergebnifs dieser erneuten Untersuchung ist zunächst eine viel gröfsere Allgemeinheit der Erscheinung, als früher vermuthet worden war. Während es früher nicht gelungen war, dieselbe an anderen als an organisirten Körpern zu beobachten, stellt sie sich jetzt heraus als eine Eigenschaft sehr vieler poröser Körper sogar rein anorganischer Natur. In den folgenden Versuchen waren, wo es irgend anging, die Mafse der angewandten prismatischen Bruchstücke poröser Körper stets nahe dieselben, nämlich 50 ‴ Länge bei einem quadratischen Querschnitte von etwa 15 ‴ Seite; und wenn die Beschaffenheit der Körper es erlaubte, die Hförmige Anordnung herzustellen, wurden wo möglich die Mafse des eben beschriebenen Guttapercha-H's beibehalten.

(1) Von der inneren Polarisirbarkeit poröser anorganischer Körper.

Der Modellirthon der hiesigen Königlichen Porzellanmanufactur, mit dem die oben S. 201. 202 erzählten thermoëlektrischen Versuche angestellt wurden, zeigte in verschiedenen Stufen der Anfeuchtung mit Brunnenwasser einen beträchtlichen Grad innerer Polarisirbarkeit. Er wurde geprüft sowohl mittelst der Hförmigen Anordnung, indem ein H daraus geknetet wurde, als mittelst der Keilbäusche, deren Schneiden, um das Eindringen von Salzlösung in den Thon zu verhindern (S. oben S. 427), mit einigen Lagen mit Wasser getränkten Fliefspapieres bekleidet

Digitized by Google

waren. Die Stärke des Polarisationsstromes, den man unter sonst gleichen Umständen von dem Thon erhält, hängt von seinem Wassergehalt ab. Der lufttrockene Thon wirkt nur sehr schwach secundär-elektromotorisch, so dafs er nach 15″ Schlufs der dreifsiggliederigen Säule nur 4—6° Ausschlag am Multiplicator für den Nervenstrom gab. Brunnenwasser mit dem achten Gewichtstheil lufttrockenen Thones angerieben, welches eine trübe Flüssigkeit darstellt, und im Guttapercha-H untersucht ward, wirkte gar nicht mehr merklich secundär-elektromotorisch. Dazwischen aber liegen alle Stufen der Wirksamkeit bis zur Erzeugung eines Ausschlages von beinahe 90°, den man mit dem Thon im guten plastischen Zustande erhält. Aber auch ein ganz dünnflüssiger Thonbrei gab merkwürdigerweise in der Guttapercharinne eine starke elektromotorische Wirkung, welche ausblieb, wenn ich während der Uebertragung der Schliefsung von dem Säulen- auf den Multiplicatorkreis die Flüssigkeit in dem Querstück des H mittelst eines Glasstabes umrührte. Die Stärke des Polarisationsstromes, der durch ein gegebenes Prisma feuchten Thones in einem gegebenen Kreise erzeugt wird, hat also ein Maximum in Bezug auf den Wassergehalt des Thones.

Mit gesättigter Kochsalzlösung, verdünnter Schwefelsäure (von 1.13 Dichte), concentrirter Kalihydratlösung angerührter Thon zeigt trotz dem viel kleineren Widerstande des Kreises keine Spur von innerer Polarisirbarkeit. Er verhält sich also in dieser Beziehung wie das Fliefspapier (S. oben S. 409).

Thon mit Wasser angemacht zwischen den mit Salzlösung getränkten Hülfsbäuschen der ursprünglichen Vorrichtung durchströmt gab doppelsinnige Wirkung genau wie ein Wasserbausch, d. h. einen negativen Vorschlag, dem ein positiver Ausschlag auf dem Fufse folgt, und es wurde beobachtet, wie durch Verlängern des Thonprima's die negative innere, durch Verkürzen desselben die positive äufsere Polarisation die Oberhand gewannen. Wurde das Querstück des aus Wasserthon gekneteten H's an einer Stelle mit Salzlösung befeuchtet, so wurden auch an dieser Vorrichtung die secundär-elektromotorischen Wirkungen doppelsinnig, gerade wie dies bereits von uns an dem aus drei balkenförmigen Wasserbäuschen zusammengesetzten H beobachtet worden ist (S. oben S. 427. 428). Wurde aber ein neues Querstück eingesetzt, so wurden sie wieder rein negativ.

Vom Thon wurde übrigens bei vielen der folgenden Versuche Gebrauch gemacht, um das Eindringen der Kupferlösung aus den Zuleitungsbäuschen der Säule in die Grundflächen der Prismen, welche die porösen Körper darstellten, zu verzögern. Dazu wurde auf diese Grundflächen ein dünnes Schild von Thon geklebt. Es leistete den verlangten

Digitized by Google

Dienst völlig, und man sieht leicht ein, dafs die eigene Polarisirbarkeit des Thones dabei gar nicht in Betracht kam.

Gemeiner Töpferlehm wirkte wie Thon, aber stärker. Bei 15″ Schlufs der dreifsiggliederigen Grove'schen Säule gab ein H aus Lehm Anschlagen an die negative Hemmung des Multiplicators für den Nervenstrom. Zwischen den mit Salzlösung getränkten Hülfsbäuschen der ursprünglichen Vorrichtung erfolgte zuerst Anschlagen an die negative, dann an die positive Hemmung mit Verweilen der Nadel im positiven Quadranten. Erst als die Länge des Lehmprisma's nur noch etwa 12‴ betrug, erschien die Wirkung sogleich sehr stark im positiven Sinne der äufseren Polarisation.

Gyps wurde gleichfalls als mit innerer Polarisirbarkeit begabt erkannt. Ich gofs ein H aus Gyps ungefähr von den Verhältnissen des Guttapercha-H, und aufserdem, behufs der Untersuchung mittelst der Keilbäusche und zwischen den Querbäuschen, in Reagenzgläsern Gypscylinder von etwa 12‴ Durchmesser. Das frischgegossene H gab nach 15″ Schlufs der dreifsiggliederigen Säule — 40° Ausschlag beiderseits. Entsprechend wirkte ein Gypscylinder bei Anwendung der Keilbäusche. Zwischen Salzlösung durchströmt gab der Cylinder doppelsinnige Wirkung, mit Vorwiegen des negativen Vorschlages bei grofser Länge des Cylinders (150‴), des positiven Ausschlages bei grofser Kürze desselben. Ein an der Luft getrockneter und nachher in gesättigter Kochsalzlösung gesottener Gypscylinder zeigte keine Spur innerer Polarisation.

Das Merkwürdigste aber ist, dafs auch der Gypsbrei, der später, wenn er erhärtet ist, innere Polarisirbarkeit zeigt, frisch angerührt keine Spur davon zu besitzen scheint. Dieser Versuch wurde mit dem Guttapercha-H angestellt, welches, mit Gypsbrei gefüllt, zwischen den Zuleitungsbäuschen der Säule und des Multiplicators stehen blieb, bis der Brei erstarrt war, und in dem Mafs, wie er erstarrte, stärkere innere Polarisation zeigte.

Kreide in destillirtem Wasser gesotten besitzt ebenfalls einen geringen Grad innerer Polarisirbarkeit, wie ich mit Hülfe eines aus Kreide geschnitzten H's fand. Nach vier Minuten Schlufs der dreifsiggliederigen Säule erfolgten etwa 20° Ausschlag auf jeder Seite am Multiplicator für den Nervenstrom. In Kalihydratlösung gesottene Kreide dagegen gab beiderseits Anschlagen an die negative Hemmung schon nach zwei Minuten langem Schlusse derselben Säule, im Widerspruch mit dem Fliefspapier und dem Thon, die, mit dieser Flüssigkeit getränkt, jede Spur innerer Polarisation versagen.

Ein Stück Quadersandstein von Schandau, mit Brunnenwasser

Digitized by Google

tränkt und mittelst der Keilbäusche untersucht, warf nach 15″ Schluſs der dreiſsiggliederigen Grove'schen Säule die Nadel des Multiplicators für den Nervenstrom mit äuſserster Heftigkeit an die Hemmung, und sogar noch fünf Grove'sche Glieder vermochten am Multiplicator für den Muskelstrom einen merklichen Ausschlag zu erzeugen. Der Sandstein wirkte folglich unter gleichen Umständen sehr viel stärker als die Kreide. Dabei war aber merkwürdigerweise die Stärke des ursprünglichen Stromes, am Vertical-Galvanoskop gemessen (S. oben S. 397), sehr viel kleiner als bei der Kreide. Als dann der Sandstein, statt mit Brunnenwasser, mit Kochsalzlösung oder mit Chlorwasserstoffsäure getränkt wurde, konnte keine sichere Spur innerer Polarisirbarkeit mehr daran entdeckt werden.

Ein Stück Badeschwamm auf ähnliche Weise untersucht, verhielt sich ganz ähnlich dem Sandstein. Mit destillirtem Wasser getränkt zeigte er sehr starke, mit Kochsalzlösung keine merkliche innere Polarisation.

Mit destillirtem Wasser getränkt und mit Hülfe der Keilbäusche untersucht wurden ferner prismatische Stücke Rüdersdorfer Kalkstein, Trachyt vom Siebengebirge, Thonschiefer von Glarus und aus dem Nassauischen, käuflicher Bimstein, Berliner Dachziegel, poröser Thon von dem Troge einer constanten Kette. Alle diese Körper zeigten einen hohen Grad innerer Polarisirbarkeit, der poröse Thon verhältnifsmäfsig den geringsten. Diesen letzteren hatten wir, wie man sich erinnert, bereits oben Bd. I. S. 380, jedoch vergeblich, auf innere Polarisation untersucht (S. oben S. 381). Der jetzige bejahende Erfolg ist jedoch ohne Zweifel der richtige, und der gröfseren Vollkommenheit der neuen Versuchsweise beizumessen.

Ein Stück Hydrophan konnte wegen seiner Kleinheit nicht mittelst der Keilbäusche untersucht werden. Es gab aber, zwischen den mit Salzlösung getränkten Querbäuschen dem Strom ausgesetzt, kräftige negative Ausschläge, die auf nichts anderes als auf innere Polarisation bezogen werden konnten.

Carrarischer Marmor und Asbest (sogenannter Tyroler Bergflachs) in destillirtem Wasser gesotten, zeigten keine merkliche Spur von innerer Polarisation. Der Asbest wurde in der Richtung der Fasern durchströmt. Was den Marmor betrifft, so ist freilich zu bemerken, dafs er nicht merklich leitete und auch, wie ich mich nachträglich überzeugte, selbst durch halbstündiges Kochen in destillirtem Wasser nicht an Gewicht zunahm.

Krystalle von schwefelsaurem Kupferoxyd und von schwefelsaurem Zinkoxyd, wie sie aus der Mutterlauge hervorgingen,

Digitized by Google

gaben keine Spur innerer Polarisation, und so verhielt sich auch ein aus einem klaren Stück Eis mit dem heifsen Messer geschnittenes Eisprisma und ein mit destillirtem Wasser getränktes Prisma gewöhnlichen Rohrzuckers. In den beiden letzten Fällen war übrigens die Schwächung des Stromes so grofs, dafs er am Vertical-Galvanoskop gar nicht bemerklich wurde. Das Eis und die Krystalle isolirten vermuthlich vollständig in ihrem Inneren.

Eben so wenig gelang es mir, eine Wirkung wahrzunehmen, als ich das Guttapercha-H, dessen Mündungen mit Fliefspapier verbunden waren, mit einem Teig von gereinigten Schwefelblumen (Sulphur depuratum Pharm. Bor.), oder von gebrannter Bittererde (Magnesia usta Pharm. Bor.) und destillirtem Wasser, anfüllte. Auffallend war, dafs trotz der ausnehmend geringen Löslichkeit der Bittererde der Teig sehr viel besser zu leiten schien als das destillirte Wasser. Merkwürdig ist ferner, dafs, wie ich zweimal mit voller Bestimmtheit beobachtet habe, der durch wochenlanges Stehen an der Luft fest und spröde und ohne Zweifel zugleich kohlensauer gewordene Magnesiateig einen merklichen Grad innerer Polarisirbarkeit angenommen hatte. Magnesia carbonica wie Magnesia usta mit destillirtem Wasser zu einem Teig angerührt, zeigte dagegen keine deutliche Spur innerer Polarisirbarkeit.

Auch reiner Quarzsand in seinem ursprünglichen Zustande sowohl als fein gemahlen und geschlemmt, wie er von der hiesigen Königlichen Porzellan-Manufactur gebraucht wird[1], zeigte sich mit destillirtem Wasser angerührt unwirksam.

Hier mag endlich noch erwähnt werden, dafs ich keine tropfbare, in sich chemisch gleichartige Flüssigkeit habe finden können, die mit innerer Polarisirbarkeit begabt wäre. Es wurden darauf geprüft die meisten der oben S. 399 angeführten Flüssigkeiten, theils mittelst des Guttapercha-H's, theils auch nur mittelst der oben S. 403. 404 beschriebenen, Fig. 153. Taf. VI abgebildeten Vorrichtung mit den Hülfsgefäfsen, indem diese sowohl als die Verbindungsröhren, zwischen den Hülfs- und den Zuleitungsgefäfsen, mit der zu prüfenden Flüssigkeit gefüllt wurden. Aufser jenen Flüssigkeiten wurden aus Gründen, die später erhellen werden, noch versucht absoluter Alkohol, der sich aber auch für die hier angewandten Stromeskräfte und stromprüfenden Mittel als Nichtleiter erwies, und ein Gemisch von gleichen Raumtheilen von absolutem Alkohol und destillirtem Wasser.

Genau genommen konnte ein bejahendes Ergebnifs nur erwartet werden bei den Flüssigkeiten, mit denen getränkt poröse Körper innere

[1] Ich verdankte ihn der Güte des Hrn. Dr. Elsner.

Digitized by Google

Polarisirbarkeit entfalten, also nach unseren jetzigen Erfahrungen bei Brunnenwasser, destillirtem Wasser, Hühnereiweifs, Ammoniak, schwefelsaurer Kupferoxydlösung. Man konnte sich vorstellen, dafs die Erscheinung der inneren Polarisirbarkeit gar nicht an dem porösen Körper haftet, sondern an der Flüssigkeit, mit der er getränkt ist. Dies ist jedoch nicht der Fall. Schon der Umstand spricht dagegen, dafs, bei der oben S. 404 beschriebenen Versuchsweise, wo die Flüssigkeiten statt im Bausch, in einer WALKER'schen oder anderen Röhre zwischen Kochsalzlösung durchströmt wurden, die Wirkungen der äufseren Polarisation rein hervortraten, ohne Einmischung der inneren Polarisation. Ferner dafs, wie wir oben gefunden haben, es auch poröse Körper giebt, die, mit den fraglichen Flüssigkeiten getränkt, keine innere Polarisation wahrnehmen lassen. Endlich aber lehrt auch der unmittelbare Versuch, dafs, bei Abwesenheit eines porösen Körpers und bei Ausschlufs der äufseren Polarisation, eine Säule aus jenen Flüssigkeiten beliebig lange dem stärksten Strom ausgesetzt werden kann, ohne dafs bei Schliefsung des Multiplicatorkreises nach Oeffnung des Säulenkreises eine Spur von innerer Polarisation bemerkbar würde.

(n) Von der inneren Polarisirbarkeit imbibitionsfähiger organischer, aber nicht organisirter Körper.

Durch Hitze geronnenes Hühnereiweifs besitzt innere Polarisirbarkeit in ganz merklichem Grade. Es wurde theils in Cylinderform mittelst der Keilbäusche, theils mittelst der H förmigen Anordnung untersucht. Die Cylinder erhielt ich, indem ich das Eiweifs in geölten Reagenzgläsern gerinnen liefs, die ich später über dem entstandenen Cylinder zertrümmerte. Um die H förmige Anordnung herzustellen, machte ich mir eine Kapsel aus Blattkupfer, wie die Apotheker sie aus Papier haben, um Pflastermasse darin auszugiefsen, oder wie FARADAY eine solche aus Platinblech bei der Verfertigung des schweren Glases benutzt hat.[1] Diese Kapsel gofs ich voll Eiweifs, erhitzte sie bis zur Gerinnung des Eiweifses und gewann so eine Tafel, aus der ich leicht ein H schneiden konnte. Zwischen Kochsalzlösung durchströmt zeigt das geronnene Eiweifs schwache positive äufsere Polarisation.

Aehnlich dem geronnenen Eiweifs, aber noch wirksamer, verhielt sich ausgewaschener geronnener Faserstoff, wie er durch Schlagen aus Ochsenblut erhalten war. Es wurde blos der Stab, der zum

[1] Philosophical Transactions for the Year 1830. P. I. p. 19. §. 35; — POGGENDORFF's Annalen u. s. w. 1830. Bd. XVIII. S. 535 ff.

Digitized by Google

Schlagen gedient hatte, aus dem Gerinnsel gezogen, ein Cylinder aus letzterem geknetet, und mittelst der Keilbäusche untersucht. Zwischen Kochsalzlösung durchströmt gab der geronnene Faserstoff positive äufsere Polarisation.

Ein prismatisches Stück vom Blutkuchen des Ochsen dagegen zeigte merkwürdigerweise keine innere Polarisation.

Ebenso wenig erhielt ich Zeichen derselben von erstarrtem gewöhnlichem Tischlerleim, der auf die nämliche Weise geprüft wurde wie das geronnene Eiweifs, theils mittelst der Keilbäusche in Gestalt eines in einem geölten Reagenzglase gegossenen Cylinders, theils als H, das aus einer in eine Untersatzschale gegossenen Leimmasse geschnitten worden war. Die äufsere Polarisation des Leimes gegen Kochsalzlösung fand ich stark positiv.

Ganz ähnlich dem Leim verhielt sich Schweizer Käse. Er leitete gut, lieferte aber keine andere secundär-elektromotorische Wirkung als, zwischen Kochsalzlösung geprüft, positive äufsere Polarisation.

Ein hieher gehöriger Körper dagegen, der sehr starke innere Polarisirbarkeit besitzt, ist die Seife. Ich untersuchte gemeine Berliner Hausseife, gewöhnliche käufliche Palmölseife, und, um vor Täuschungen durch Verunreinigungen sicher zu sein, die medicinische Seife (Sapo medicatus) der vorigen Ausgabe der Preufsischen Pharmakopöe (1829), welche nur aus Olivenöl und Natron besteht.[1] Prismen aus der letzteren Seife im lufttrockenen Zustande, wo sie leicht gepulvert werden konnte, geschnitten, gaben nur schwache Wirkungen; aber nachdem sie vierundzwanzig Stunden lang in Fliefspapier, welches mit destillirtem Wasser angefeuchtet war, in einem verschlossenen Gefäfs eingewickelt gelegen hatten, warfen sie nach 15″ Schlufs der dreifsiggliederigen Grove'schen Säule die Nadel des Multiplicators für den Nervenstrom mit äufserster Heftigkeit an die Hemmung. Getrocknet nahmen sie wieder an Wirksamkeit ab. Aus der Palmölseife liefs sich leicht ein H schneiden, welches sich kräftig wirksam zeigte.

Rührt man Seife mit einer gröfseren Menge Wassers an, so dafs sie einen schaumigen Brei bildet, so zeigt sie, in das Guttapercha-H gefüllt, gleichwohl noch innere Polarisirbarkeit. Ja ganz dünnflüssiges, trübe opalisirendes Seifenwasser, mit dem man bereits Blasen darstellen konnte, gab noch deutliche Spuren innerer Polarisation, — 15° bei 15″ Schlufs der dreifsiggliederigen Säule. Bei noch gröfserer Verdünnung wurde die Wirkung unmerklich, so dafs dieselbe auch hier, wie beim

[1] Die neuere Ausgabe (1846) hat eine minder einfache Vorschrift, da sie aufser Olivenöl auch noch Schweinefett in Anwendung bringt.

Digitized by Google

Thon, ein Maximum in Bezug auf die Menge des zugemischten Wassers besitzt (S. oben S. 431).

Zwischen Salzlösung durchströmt giebt Seife auch in der dünnsten Schicht und nach der längsten Zeit rein negative Wirkung. Es mufs also entweder die äufsere Polarisation derselben negativ, oder Null oder so schwach positiv sein, dafs sie unter allen Umständen von der negativen inneren übertroffen wird.

Eine Ammoniakseife, die ich demnächst untersuchte, nämlich das Linimentum ammoniatum Pharm. Bor., zeigte ebenfalls Spuren innerer Polarisirbarkeit. Jedoch hielt es dabei so schwer, ein genügende Gleichartigkeit des Multiplicatorkreises zu erzielen, dafs ich zu keiner völligen Gewifsheit gelangte.

(m) Von der inneren Polarisirbarkeit organisirter Körper aus dem Pflanzenreich.

Sämmtliche Körper aus dem Pflanzenreich scheinen im hohen Grade mit innerer Polarisation begabt zu sein, gleichviel ob frisch, mit ihren natürlichen Säften angefüllt, oder nach der Trocknifs, nach mannichfacher Verarbeitung gleich den Körpern anorganischen Ursprungs erst mit Wasser getränkt. Ich gründe diesen Satz auf folgende Thatsachen.

Dieselben sind gröfstentheils im Frühjahr zu Anfang Mai beobachtet, was möglicherweise nicht ohne Einfluſs auf die Lebhaftigkeit der Erscheinungen sein mag, insofern dieselbe von Natur und Menge des in den Pflanzentheilen gegenwärtigen Saftes abhängen mufs. Die benutzten Stücke von Zweigen, Stielen u. s. w. hatten im Allgemeinen auch hier etwa 50^{mm} Länge und 15^{mm} Durchmesser.

Stücke vom Stengel der Fritillaria imperialis, von dem einer Begonia, vom Blattstiel von Rheum rhaponticum und Angelica officinalis, wurden mit ihren beiden senkrechten Querschnitten zwischen die Zuleitungsbäusche der Säule gebracht. Auf der einen Seite waren sie der Epidermis beraubt. Hier wurden ihnen die Schneiden der Keilbäusche angelegt. Sie warfen sämmtlich nach 15″ Schlufs der dreifsiggliederigen Säule die Nadel des Multiplicators für den Nervenstrom mit Heftigkeit an die Hemmung.

Ein dicker holziger Zweig von Prunus Mahaleb, ebenso behandelt, nur dafs statt der Epidermis die Rinde bis auf den Splint entfernt worden war, zeigte eine so starke innere Polarisirbarkeit, dafs 15″ Schlufs von fünf Grove'schen Gliedern noch hinreichte, die Nadel des Multiplicators für den Muskelstrom an die negative Hemmung zu führen. Stücke von Zweigen von Rhus typhinum, Acer Ne-

Digitized by Google

gundo, Sambucus nigra, Salix fragilis, Cornus sanguinea verhielten sich ähnlich.

Das Mark von Sambucus nigra und die Rinde von Salix fragilis allein gaben auch sehr heftige Wirkung; das Holz an und für sich aber gleichfalls.

Endlich Prismen aus Kartoffeln und Aepfeln geschnitten, und Stücke von Mohrrüben (Daucus Carota) und Petersilienwurzel (Petroselinum sativum) zeigten ebenfalls innere Polarisirbarkeit.[1] Auch nachdem sie fünf Minuten gekocht worden waren, war dies noch der Fall. Ein Stück vom sogenannten Albumen der Pará-Nufs (des Samens von Bertholletia excelsa) gab allerdings keine Spur von Wirkung, schien aber auch fast vollständig zu isoliren.

Was nun das Holz betrifft, das wir bereits oben Bd. I. S. 380 (S. oben S. 381) mittelst eines unvollkommenen Verfahrens auf innere Polarisirbarkeit geprüft und als damit begabt erkannt hatten, so besitzt es wirklich dieselbe in hohem Mafse, wie sich nun schon aus den Versuchen an frischen Zweigen ergiebt. Hölzerne Stäbe aus verschiedenen Holzarten, Eichen, Birken, Kien, Weifsbüchen, Mahagoni, in Brunnenwasser gesotten, von Querschnitt zu Querschnitt durchströmt und mittelst der Keilbäusche untersucht, gaben erstaunlich starke Wirkung. Mit schwefelsaurer Kupferoxydlösung getränkt wirkten sie noch immer sehr kräftig, dagegen mit Kochsalz war ihre Wirkung zwar noch zu bemerken, jedoch unvergleichlich kleiner als vorher. Wurde die Guttapercha-Rinne mit einem Brei von Brunnenwasser und Eichensägespänen gefüllt, so gab sie lebhafte negative Wirkung. Wurde der Brei während des Durchströmens und bis zum Augenblick nach der Oeffnung des Säulen- und Schliefsung des Multiplicatorkreises umgerührt, so blieb die Wirkung aus.

Ob die innere Polarisirbarkeit des Holzes, wie es nicht unwahr-

[1] Ich mufs hier beiläufig bemerken, dafs ich, bei Ableitung mit Salzbäuschen, zwischen je zwei Querschnitten der Mohrrübe mit auffallender Regelmäfsigkeit einen an der Rübe aufsteigenden Strom vorgefunden habe. Hingegen der Blattstiel des Rheum und der Fritillaria zeigten ebenso regelmäfsig einen absteigenden Strom, der um so stärker war, je länger das Stück. Diese Erscheinungen gehören ohne Zweifel in die Klasse derjenigen, die, zuerst von Alexandre Donné beobachtet (S. oben Bd. I. S. 9), in neuester Zeit wieder der Gegenstand ausgedehnter Untersuchungen von Seiten des älteren Becquerel's, Wartmann's und Buff's geworden sind. (S. die Fortschritte der Physik in den Jahren 1850 und 1851. Dargestellt von der physikalischen Gesellschaft zu Berlin. Redigirt von Dr. Krönig und Prof. Dr. Bertz. Berlin 1855. S. 740.*) Auffallend aber ist, dafs Buff ein Verhalten, wie ich es beobachtet zu haben glaube, ausdrücklich in Abrede stellt (Liebig und Wöhler. Annalen der Chemie und Pharmacie. 1854. Bd. LXXXIX. S. 85.*)

Digitized by Google

scheinlich ist, in verschiedenen Richtungen verschieden ist, habe ich noch nicht ermittelt. Von dem Verhalten der Holzkohle wird noch später die Rede sein.

Die innere Polarisirbarkeit des Papieres ist uns bereits eine geläufige Thatsache. Wie im Papier, verhält sich die verarbeitete Pflanzenfaser übrigens auch im Bindfaden. Eine H förmige Anordnung aus hanfener Schnur, die in destillirtem Wasser war gesotten worden, gab starke innere Polarisation, während dieselbe Schnur in Salzlösung gekocht sich völlig unwirksam verhielt.

Baumwollener Docht mit destillirtem Wasser getränkt giebt ebenfalls lebhafte Zeichen von innerer Polarisation.

Schwach, jedoch entschieden wirkten Brodkrume, wie auch sogenannte Pfundbärme. Wurde die H förmige Guttapercha-Rinne mit Ober- (Weifsbier-) Hefe gefüllt, so wurden wenigstens unzweideutige Spuren innerer Polarisation in der mit Pilzzellen angefüllten Flüssigkeit bemerkbar.

(IV) Von der inneren Polarisation organisirter Körper aus dem Thierreich.

Wir nähern uns wieder etwas mehr der eigentlichen Ziele unserer Untersuchung, indem wir uns jetzt zu der Frage wenden, wie die verschiedenen thierischen Gewebe sich in Bezug auf äufsere und innere Polarisirbarkeit verhalten. Die Antwort ist, dafs alle untersuchten Gewebe, zwischen Kochsalzlösung durchströmt, gleich Wasser, Eiweifs u. s. w., positive äufsere Polarisation zeigen, und dafs sie ebenso sämmtlich, mehr oder weniger stark, mit innerer Polarisirbarkeit begabt sind. Folgendes ist das Einzelne meiner Versuche.

Ein frisches Stück Rippe vom Kalb, von der Beinhaut entblöfst, zwischen die Zuleitungsbäusche der Säule gebracht und mit den Keilbäuschen ableitend berührt, gab äufserst starke negative Wirkung, nach 5″ — 5′ langer Durchströmung der zehn- bis dreifsiggliederigen Säule.

Hier mag sogleich auch noch des Elfenbeins gedacht werden, welches, in Gestalt einer 1‴ dicken Platte (S. oben Abth. I. S. 353) zwischen die Querbäusche gebracht, eine zwar sehr schwache, jedoch unverkennbare Spur negativer Wirkung gab.

Frischer Rippenknorpel vom Kalb, gleichfalls von fibrösem Gewebe frei, gab auf dieselbe Art und in H förmiger Anordnung untersucht, schwächere negative Wirkung. Zwischen den mit Kochsalzlösung getränkten Querbäuschen gab er starke positive Wirkung wegen äufserer Polarisation, bei kurzer Dauer des Stromes mit einem negativen Vor-

Digitized by Google

schlage wegen innerer Polarisation. Positiv wurde auch bei Anwendung der Keilbäusche die Wirkung, wenn die Schneiden der Keilbäusche nicht mit doppelten Eiweifshäutchen bekleidet waren, und die Anordnung etwas länger zusammengestellt blieb. Ganz wie dies oben S. 427 bereits auseinandergesetzt wurde, verbreitet sich nämlich alsdann Kochsalzlösung von den Schneiden der Keilbäusche aus in den Knorpel, und es entstehen in der zwischen den Schneiden begriffenen Strecke desselben zwei Begrenzungen von Kochsalzlösung gegen Knorpel, an denen sich, wenn ein Strom hindurchgeht, eine positive secundär-elektromotorische Kraft entwickelt. Der Beweis, dafs dies sich so verhält, liegt erstens darin, dafs an den Stellen, wo die Schneiden den Knorpel berühren, durch Entziehung des Wassers nach bekannten Gesetzen der Hydrodiffusion zwei tiefe Furchen entstehen; zweitens darin, dafs bei gehöriger Verwahrung der Schneiden mit Eiweifshäutchen auch nach sehr langer Zeit die Wirkung noch rein negativ ist; endlich darin, dafs, wenn man unter diesen Umständen einer Stelle des Knorpels zwischen den Schneiden durch Berührung mit einem mit Salzlösung getränkten Bausch oder Pinsel Gelegenheit giebt, sich mit der Lösung zu tränken, sofort positive Wirkung auftritt.

Gekochter sowohl als über Schwefelsäure getrockneter und wieder aufgeweichter Knorpel verhält sich wie frischer.

Bei der Durchströmung des Knorpels zwischen den mit schwefelsaurer Kupferoxydlösung getränkten Zuleitungsbäuschen der Säule zeigte sich eine Erscheinung, die zwar nicht hieher gehört, jedoch Beachtung verdient. Man sieht nämlich, wenn man nicht zwischen die Enden des Knorpels und die Zuleitungsbäusche Thonschilder eingeschaltet hat (S. oben S. 431. 432), das Kupfersalz von dem positiven Bausch aus in den Knorpel dringen und ihn mehrere Millimeter tief blau färben, während er auf der negativen Seite dieselbe Färbung nur ganz oberflächlich annimmt. Man kann auf diese Art, ohne irgend ein anderes Merkmal, mit völliger Gewifsheit die Richtung des Stromes bestimmen. Ich brauche nicht zu erwähnen, dafs dies nur ein besonderer Fall der von Reuss und Porret entdeckten, neuerdings von Wiedemann untersuchten Elektrodiffusion ist (S. oben S. 422). Auch bei anderen porösen Körpern wurde im Laufe dieser Versuche dieselbe Erscheinung beobachtet, bei keinem jedoch so schön und unzweideutig, wie bei dem Knorpel.

Die Beugesehnen des Vorderfufses des Rindes boten eine gute Gelegenheit, das secundär-elektromotorische Verhalten des Sehnengewebes zu ermitteln. Es zeigte sich, wie zu erwarten war, bei Anwendung derselben Versuchsweisen wie beim Knorpel, positive äufsere und negative innere Polarisation, allein merkwürdigerweise beide viel

Digitized by Google

schwächer als beim Knorpel. Auch eine halbe Stunde lang gekochte Sehne gab noch schwache Wirkung.

So werden wir endlich auf das elastische Gewebe zurückgeführt. Es ist, nach allem Voraufgegangenen, wohl leicht, das Ergebnifs der erneuten Untersuchung desselben vorherzusehen, welche, wie die frühere (S. oben Bd. I. S. 381), am Nackenbande des Schafes und des Rindes angestellt wurde. Das Räthsel der positiven secundär-elektromotorischen Wirkung dieses Gewebes, welches mich Jahre lang als ein unbegreifliches Paradoxon verfolgt hatte, löst sich jetzt leicht dahin auf, dafs diese Wirkung auf äufserer Polarisation an der Grenze der Kochsalzlösung beruhte, während bei Ausschlufs dieser Polarisation das elastische Gewebe einfach einen geringen Grad gewöhnlicher innerer Polarisation im negativen Sinne erkennen läfst. Zwischen den mit Kochsalzlösung getränkten Querbäuschen, wo beide Polarisationen gleichzeitig im Spiel sind, verhält sich das elastische Gewebe sehr ähnlich einem mit Eiweifs getränkten Bausch, indem bei kurzer Durchströmung rein negative, bei etwas längerer doppelsinnnige, bei noch längerer endlich rein positive Wirkung erfolgt. (Vergl. oben S. 400.)

Die Haut des Frosches haben wir schon oben Bd. I. S. 381 untersucht und ihr, wie sich jetzt bei erneuter Prüfung herausgestellt hat, mit Recht innere Polarisirbarkeit zugeschrieben. Ebenso verhält sich die Haut des Menschen, wie sich schon daraus entnehmen läfst, dafs Bindegewebe und elastisches Gewebe in ihren Bau eingehen. Ein Streifen Haut von der Rückenfläche des Unterarmes einer drei Tage alten weiblichen Leiche (derselben, woran die oben S. 269 beschriebenen Versuche angestellt sind) gab positive äufsere Polarisation, gleichviel ob er die Salzbäusche mit der Oberhaut oder mit dem Unterhautbindegewebe berührte.

Bemerkenswerth ist, dafs sogar gegerbte Haut noch innere Polarisirbarkeit besitzt. Ein Streifen von sogenanntem sämischen Leder, aus dem die Stulpen der Fechthandschuhe gemacht werden, in Wasser gesotten, zeigte lebhafte innere Polarisation; in Kochsalzlösung gesotten, nur noch eine Spur.

Auch das Gewebe der Lunge, Leber, Milz und Niere eines frisch getödteten Kaninchens zeigte innere Polarisirbarkeit; die Lunge und Milz in geringerem, die Niere und Leber aber in sehr hohem Grade.

Unerwarteter war mir, dafs sogar das Horngewebe einen beträchtlichen Grad innerer Polarisirbarkeit besitzt. Ein zwei Stunden lang in Brunnenwasser gekochtes Stück Büffelhorn, 15″ lang dem Strom der dreifsiggliederigen Grove'schen Säule ausgesetzt und mittelst der Keilbäusche abgeleitet, warf die Nadel des Multiplicators für den Nerven-

Digitized by Google

strom an die negative Hemmung. Ein ebenso behandeltes Stück Fischbein trieb sie wenigstens auf 50 — 60°.

Seidene Schnur dagegen, wie baumwollene oder hanfene behandelt, zeigt keine Spur innerer Polarisirbarkeit, so daſs es möglich wäre, mit Hülfe dieses Unterschiedes eine Verfälschung der Seide mit Baumwolle zu erkennen; ein Verfahren, welches sich freilich eben so wenig als praktisch empfehlen dürfte, als das von Rousseau zur Erkennung der Verfälschung des Baumöls vorgeschlagene. (S. oben Abth. I. S. 111. Anm. 1 und 2.)

Es bleiben endlich hier übrig die Muskeln und Nerven, deren secundär-elektromotorische Wirkungen kennen zu lernen, wie man sich erinnert, eigentlich das letzte Ziel unserer gegenwärtigen Bestrebungen ist. Wir werden uns dieser Ermittelung bald mit ungetheilter Aufmerksamkeit zuwenden. Zuvor jedoch wird es am Orte sein, die Erscheinung der inneren Polarisation an sich etwas näher in's Auge zu fassen.

(v) Einfluſs erhöhter Temperatur auf die innere Polarisirbarkeit feuchter poröser Körper.

Ueber den vernichtenden Einfluſs, den Siedhitze auf die bereits entwickelte innere Polarisation der Muskeln und des Holzes ausübt, sind bereits oben Bd. I. S. 379. 380 rohe Versuche mitgetheilt worden. Es schien mir jetzt abermals nicht ohne Wichtigkeit, mit meinen vervollkommneten Versuchsweisen zu ermitteln, wie sich die innere Polarisirbarkeit poröser feuchter Leiter bei höheren Temperaturen verhalten würde.

Zu diesem Zweck stellte ich die Fig. 154. Taf. VI abgebildete Anordnung her, brachte aber, statt des heberförmigen Verbindungsrohres zwischen den beiden Hülfsgefäſsen ein Uförmiges Rohr an, welches mit den Hülfsgefäſsen durch ziemlich enge heberförmige Röhren verbunden war. Die Hülfsgefäſse, das Uförmige Rohr und die letztgenannten engen Röhren waren mit Brunnenwasser gefüllt; die weiten heberartigen Verbindungsröhren der Hülfsgefäſse mit den Zuleitungsgefäſsen der Säule und des Multiplicators beziehlich mit schwefelsaurer Kupferoxyd- und Kochsalzlösung. Diese Röhren waren nach den Hülfsgefäſsen zu in hergebrachter Weise mittelst doppelter Schweinsblase geschlossen. Das mit Brunnenwasser gefüllte Uförmige Rohr diente zur Aufnahme des gleichfalls mit Brunnenwasser getränkten innerlich polarisirbaren Körpers, der darin der Siedhitze ausgesetzt werden konnte. Es wurde also zuerst die Stärke der inneren Polarisation für eine gewisse Dauer und Stärke des ursprünglichen Stromes bei gewöhnlicher Temperatur geprüft. Dann wurde mittelst einer untergesetzten Weingeistlampe das Wasser in dem Uförmigen

Digitized by Google

Rohr zum Sieden gebracht, und der Versuch wiederholt. Allerdings nahm bei diesem Verfahren der Widerstand des Uförmigen Rohres etwas ab.[1] Indessen war anzunehmen, dafs dieser Widerstand verschwand gegen den der engen Verbindungsröhren zwischen dem Uförmigen Rohr und den Hülfsgefäfsen. Damit aber dieser minder einer Abnahme in Folge erhöhter Temperatur ausgesetzt sei, wurden jene Röhren, nach dem Uförmigen Rohr hin, mit Stopfen verschlossen, die, wenn es anging, aus dem im Rohr enthaltenen, innerlich polarisirbaren Körper gemacht waren, sonst aus Fliefspapier.

In das Uförmige Rohr brachte ich nun nacheinander Baumwollendocht, Fliefspapier, Hanfschnur, Badeschwamm, Thonschiefer in Stücken. Die innere Polarisirbarkeit der beiden erstgenannten Körper erwies sich als zu schwach, um unter den Umständen des Versuches selbst bei 20″ Schlufs der dreifsiggliederigen Grove'schen Säule eine merkliche Wirkung am Multiplicator für den Nervenstrom zu erzeugen. Hingegen mit den drei letzteren Körpern gelang der Versuch sehr gut. Der Erfolg war, dafs, während das Wasser in dem Uförmigen Rohr im Sieden begriffen war, der Badeschwamm seine innere Polarisirbarkeit, die sonst sehr beträchtlich ist, scheinbar ganz eingebüfst hatte. Nach dem Erkalten kehrte dieselbe in der ursprünglichen Stärke zurück. Die Hanfschnur und der Thonschiefer liefsen dagegen während des Siedens noch ganz kräftige Wirkungen wahrnehmen, obschon allerdings schwächer, als sie bei gewöhnlicher Temperatur, unter sonst unveränderten Umständen, vor- und nachher erhalten wurden.

Das Ergebnifs ist demnach, dafs Erhöhung der Temperatur die innere Polarisation der porösen feuchten Leiter beeinträchtigt.

(vi) Von der Vertheilung der elektromotorischen Kräfte in den innerlich polarisirten Körpern, und von der Abhängigkeit der Gröfse der secundär-elektromotorischen Wirkung von den Dimensionen jener Körper.

In zahlreichen Fällen wurde im Laufe der vorigen Versuchsreihe die Ueberzeugung erlangt, dafs die secundär-elektromotorische Kraft zwischen je zwei der Länge nach auseinandergelegenen Punkten der durchströmten Strecke in derselben Richtung wahrnehmbar ist.

Rückt man mit den in beständigem Abstand gehaltenen Schneiden der Keilbäusche einem innerlich polarisirten Körper von prismatischer Gestalt entlang, so erhält man, unter sonst gleichen Umständen, stets einen gleich starken negativen Ausschlag.

[1] S. Ohm in Poggendorff's Annalen u. s. w. 1844. Bd. LXIII. S. 403.

Digitized by Google

Legt man die Schneiden zweien von der Mitte des innerlich polarisirten prismatischen Körpers gleich weit entfernten Punkten seiner Länge an, und wählt dabei ihren Abstand bald kleiner bald gröſser, so wächst die Stärke der secundär-elektromotorischen Wirkung mit jenem Abstande, vorausgesetzt, daſs ein hinlänglicher auſserwesentlicher Widerstand im Multiplicatorkreise zugegen ist.

Hieraus folgt, in Uebereinstimmung mit dem oben S. 380 Gesagten, daſs bei der inneren Polarisation eines gleichartigen, der Axe nach durchströmten Prisma's jeder durchströmte Querschnitt der Sitz einer gleich groſsen elektromotorischen Kraft in der dem ursprünglichen Strom entgegengesetzten Richtung wird. Der innerlich polarisirte Körper wird zeitweise in eine Art von secundärer Säule aus gleichförmig in seinem Inneren vertheilten elektromotorischen Elementen verwandelt.

Die Stärke der secundär-elektromotorischen Wirkungen, oder die elektromotorische Kraft der eben erwähnten Elemente, wächst bei gleichen Maſsen des innerlich polarisirten Leiters mit der Stärke des ursprünglichen Stromes und mit seiner Dauer. Unzweifelhaft hat dieses Wachsthum nach beiden Richtungen eine gewisse Grenze, doch ist dieselbe noch nicht mit hinlänglicher Schärfe bestimmt.

Es würde sich jetzt noch darum handeln, eine Vorstellung davon zu gewinnen, wie sich die Stärke der secundär-elektromotorischen Wirkung mit den Dimensionen des innerlich polarisirbaren Leiters ändert. Offenbar muſs das Verhältniſs ein sehr verwickeltes sein, insofern nämlich der Widerstand der innerlich polarisirbaren Körpsr stets ein groſser im Vergleich zu dem der Säule und des Multiplicators ist, die ursprüngliche und die secundäre Stromstärke folglich schon in dieser Weise von den Maſsen jenes Körpers abhängen; zweitens bei wachsendem Querschnitt des innerlich polarisirbaren Körpers die Dichte des gleich stark gedachten ursprünglichen Stromes darin abnimmt, die secundär-elektromotorische Kraft aber unzweifelhaft nicht mit der ursprünglichen Stromstärke, sondern vielmehr mit dieser Dichte nach irgend einem Gesetze wächst.

Um einigermaſsen die Folgen dieser verschiedenen Abhängigkeiten zu übersehen, wollen wir gewisse einfache Voraussetzungen machen, wodurch wir in Stand gesetzt werden, uns der Rechnung zu bedienen.

Es heiſse nämlich

E die elektromotorische Kraft der Säule, die den ursprünglichen Strom liefert;

S der Widerstand des Säulenkreises gemessen bis zum innerlich polarisirbaren Körper;

M der Widerstand des Multiplicatorkreises ebenso gemessen;

q der Querschnitt jenes prismatisch gedachten Körpers;

Digitized by Google

L die Länge desselben gemessen zwischen den den Grundflächen des Prisma's angelegten Endbäuschen des Säulenkreises;

mL, worin m eine Constante < 1, seine Länge gemessen zwischen den Keilbäuschen des Multiplicatorkreises;

σ der Widerstand desselben für die Einheit der Länge und des Querschnittes;

endlich t die Dauer der Schliefsung des ursprünglichen Stromes.

Die Stärke des ursprünglichen Stromes wird sein

$$I = \frac{E}{S + \frac{\sigma L}{q}} \qquad (I)$$

Wir wollen annehmen, die im durchströmten Körper im Augenblick der Oeffnung des Säulen- und Schliefsung des Multiplicatorkreises (die als gleichzeitig betrachtet werden) gegenwärtige und im letzteren Kreise wirksame Summe E' secundär-elektromotorischer Kräfte sei 1. der Dauer des ursprünglichen Stromes, 2. seiner Dichte, beides zwischen gewissen Grenzen, 3. der Länge der in's Auge gefafsten Strecke mL einfach proportional. Da die Dichte = dem Quotienten aus dem Querschnitt in die Stromstärke, so wird also E' dem Querschnitt, innerhalb gewisser Grenzen, umgekehrt proportional sein.

Dies scheint ganz unverfänglich, doch ist zweierlei dazu zu bemerken. Erstens mufs man sich den innerlich polarisirbaren Köper von sehr gestreckter Gestalt denken, damit man ohne merklichen Fehler E' der Strecke mL proportional setzen könne, weil nämlich die Ableitung zum Multiplicatorkreise nicht von den Grundflächen des Prisma's aus, sondern mittelst der Keilbäusche geschieht, in welche sich die Stromescurven hineinbiegen müssen, so dafs ein Theil der zunächst den Ableitungsstellen ihren Sitz habenden elektromotorischen Kräfte nicht zur Wirkung kommt. Für's Zweite wird die Folge lehren, dafs aller Wahrscheinlichkeit nach die in einem Querschnittselement erzeugte secundärelektromotorische Kraft im Multiplicatorkreise nur mit einem Theile wirkt, welcher nicht unabhängig ist von dem Querschnitt des innerlich polarisirten Körpers, von seiner Länge, und vom Widerstande des Multiplicatorkreises.

Sieht man von diesen Umständen ab, so hat man also

$$E' = -n \,.\, t \,.\, \frac{I}{q} \,.\, mL.$$

Setzt man hierin für I dessen Werth aus (I), so erhält man

$$E' = -n \,.\, t \,.\, \frac{E}{S + \frac{\sigma L}{q}} \cdot \frac{mL}{q}$$

Digitized by Google

Unter der schon erwähnten Voraussetzung einer sehr gestreckten Gestalt des innerlich polarisirbaren Körpers ist der Widerstand desselben zwischen den Keilbäuschen ohne merklichen Fehler zu setzen

$$= \frac{m\sigma L}{q}.$$

Es ergiebt sich folglich für die im ersten Augenblick der Schlieſsung des Multiplicatorkreises stattfindende Stromstärke der Ausdruck

$$I' = -n.t.\frac{E}{\left(S+\frac{\sigma L}{q}\right)\left(M+\frac{m\sigma L}{q}\right)}.\frac{mL}{q}. \qquad (II)$$

Wie man sieht, kommen in diesem Ausdruck die Dimensionen des polarirbaren Körpers L und q nur zusammen und zwar dergestalt verbunden vor, daſs sie den Widerstand des Körpers angeben, insofern derselbe von den Dimensionen abhängt. Lieſse man daher L und q in gleichem Verhältniſs sich verändern, so daſs

$$\frac{L}{q} = r = const.,$$

so würde die im ersten Augenblick stattfindende secundär-elektromotorische Wirkung dieselbe bleiben, welches auch der Werth von L und q wäre.

Ein Ergebniſs, welches auch ohne Rechnung einleuchtet. Bleibt nämlich der Widerstand des innerlich polarisirbaren Körpers unverändert, so bleibt dies auch die Stärke des ursprünglichen Stromes, und ebenso der Widerstand des secundären Kreises, d. h. des Kreises, der aus jenem Körper und dem Multiplicatorkreise besteht. In dem Maſse, wie der Querschnitt wächst, nimmt freilich, bei sich gleich bleibender Stärke des ursprünglichen Stromes, die Dichte dieses Stromes im Querschnitt und folglich die secundär-elektromotorische Kraft im Längenelemente ab. Allein da in demselben Maſse die Länge wachsen soll, so bleibt schlieſslich E', die Summe der secundär-elektromotorischen Kräfte, constant, und bei sich gleichbleibendem Widerstande des secundären Kreises also auch die Stärke der secundär-elektromotorischen Wirkung im ersten Augenblick.

Denken wir uns nunmehr r veränderlich und untersuchen die Function $I' = f(r)$, so zeigt sich, daſs dieselbe ein Maximum hat für

$$r = \frac{1}{\sigma}\sqrt{\frac{SM}{m}},$$

wenn also $S = M$ und $m = 1$, für

$$\sigma r = \frac{\sigma L}{q} = S = M,$$

Digitized by Google

oder für den Fall, dafs der Widerstand des innerlich polarisirbaren Körpers gleich ist dem des Säulen- und dem des Multiplicatorkreises. Geben wir S und M ihre allgemeine Bedeutung wieder, denken uns q beständig, und nur L veränderlich, so findet ein Maximum statt für

$$L = \frac{q}{\sigma}\sqrt{\frac{SM}{m}}.$$

Umgekehrt bei beständigem L und veränderlichem q für

$$q = \sigma L\sqrt{\frac{m}{SM}}. \quad \text{(III)}$$

Bemerkenswerth ist noch, was sich ereignet, wenn man sich denkt, dafs der Widerstand des Säulen- sowohl als des Multiplicatorkreises verschwindet gegen den des innerlich polarisirbaren Leiters, und umgekehrt. In beiden Fällen hört die Function $I' = f(r)$ auf, ein Maximum zu besitzen. Im ersten Fall nämlich wird sie

$$I' = \frac{ntE}{\sigma^2 . r},$$

im zweiten

$$I' = \frac{mntE . r}{SM}. \quad \text{(IV)}$$

Die Stärke der secundär-elektromotorischen Wirkung wird also im ersten Falle dem Widerstand des polarisirbaren Leiters, sofern er von dessen Dimensionen abhängt, umgekehrt, im zweiten gerade proportional sein.

Es wäre nun von hohem Interesse gewesen, die wichtigsten unter diesen Schlüssen durch den Versuch zu prüfen, theils um die Gestaltung des Phänomens unter den fraglichen Umständen wirklich zu erkennen, theils um sich von dem Mafs von Wahrheit und von Irrthum in den gemachten Voraussetzungen zu überzeugen. Dies würde indessen für's Erste erfordert haben, dafs diese Versuche in messende umgewandelt würden, wozu die Beseitigung der Polarisation der Platinenden des Multiplicatorkreises und die Anwendung eines wirklichen galvanometrischen Mefswerkzeuges, statt des Multiplicators für den Nervenstrom, oder Graduirung des letzteren, vor Allem nöthig geworden wären. Für's Zweite ist aber noch zu beachten, dafs der Ausdruck (II) die Stärke der secundär-elektromotorischen Wirkung unter den gemachten Voraussetzungen genau nur im ersten Augenblick nach der als gleichzeitig betrachteten Oeffnung des Säulen- und Schliefsung des Multiplicatorkreises darstellt. Zur Bewährung dieser Formel und der daraus abgeleiteten Schlüsse könnte folglich nur geschritten werden mit Hülfe der von Poggendorff für das Studium der secundär-elektromotorischen Erscheinungen empfohlenen und zwar äufserst schnell bewegten Wippe (S. oben Bd. I. S. 238).

Digitized by Google

Obschon ich nun dies Alles nicht für unausführbar hielt, so würde es doch auf alle Fälle ein so weit aussehendes Unternehmen geworden sein, daſs ich vor der Hand davon abstehen zu müssen glaubte. Ich habe mich damit begnügt, von jenen Schlüssen solche durch den Versuch zu bestätigen, welche dazu keine eigentlichen Maſsbestimmungen erfordern, wobei ich also auſser Acht lassen durfte erstens, daſs die bei Schlieſsung des Multiplicator- nach Oeffnung des Säulenkreises erfolgende Summe secundär-elektromotorischer Wirkungen auf die Nadel der Gröſse der im ersten Augenblick stattfindenden secundär-elektromotorischen Kraft möglicherweise nicht einfach proportional ist; und zweitens, daſs wenn auch diese Proportionalität stattfände, der Ausschlag der Nadel doch nicht entfernterweise ein getreues Maſs jener Summe liefert. Sogar von solchen Prüfungen habe ich übrigens nur den allerkleinsten, wenn auch wichtigsten, Theil bisher anzustellen vermocht.

$$\text{I.}\quad r = \frac{L}{q} = const.$$

Ein Punkt, der zunächst zur experimentellen Bestätigung einlud, war das oben der Formel (II) entnommene Ergebniſs, daſs die Gröſse der secundär-elektromotorischen Wirkung von der Länge und dem Querschnitt beider ganz unabhängig sei, wenn nur das Verhältniſs beider beständig bleibe.

Ich lieſs von einem geschickten Tischler aus demselben Stück Weiſsbüchenholz fünf Paar Stäbe von verschiedener Gröſse schneiden, an denen diese Bedingung möglichst genau erfüllt war. Dieselben besaſsen nämlich in rheinischen Zollen und Millimetern, den Zoll zu 26^{mm} gerechnet, folgende Maſse:

	I.	II.	III.	IV.	V.
Länge	$1'' = 26^{mm}$	$2'' = 52^{mm}$	$3'' = 78^{mm}$	$4'' = 104^{mm}$	$6'' = 156^{mm}$
Querschnitt	$\frac{1}{8}'' \times \frac{1}{8}'' = \frac{1}{64}\,\square'' = 10{,}6\,\square^{mm}$	$\frac{2}{8}'' \times \frac{1}{8}'' = \frac{2}{64}\,\square'' = 21{,}1\,\square^{mm}$	$\frac{3}{8}'' \times \frac{1}{8}'' = \frac{3}{64}\,\square'' = 31{,}7\,\square^{mm}$	$\frac{2}{8}'' \times \frac{2}{8}'' = \frac{4}{64}\,\square'' = 42{,}2\,\square^{mm}$	$\frac{3}{8}'' \times \frac{3}{8}'' = \frac{6}{64}\,\square'' = 63{,}4\,\square^{mm}$

Diese Stäbe wurden in destillirtem Wasser gesotten, bis sie untersanken, und anzunehmen war, daſs sie alle auf allen Punkten gleichmäſsig damit durchtränkt seien. Die Stäbe wurden, bei den folgenden Versuchen, um ihnen den ursprünglichen Strom zuzuleiten, mit ihren beiden Enden zwischen die Zuleitungsbäusche der Säule eingeklemmt. Die Enden waren mit Thonschildern bekleidet, um das Eindringen des Kupfersalzes zu verhindern (S. oben S. 431. 432).

Digitized by Google

Wie dort gesagt wurde, ist der Thon zwar selber innerlich polarisirbar, indessen verschwinden die secundär-elektromotorischen Wirkungen, deren er fähig ist, gegen die des Holzes sogar bei gleichen Dimensionen; vollends mufste dies hier der Fall sein, wo die Dicke der Thonschilde gegen die Länge der Stäbe, mit Ausnahme vielleicht des kürzesten, kaum in Betracht kam.

Gröfstmögliche Dünne der Schilde war übrigens noch durch eine andere Betrachtung geboten. Durch deren Einführung in den Säulenkreis geht der erste Factor des Nenners in (II) über in

$$S + \frac{2\tau\lambda}{q} + \frac{\sigma L}{q},$$

wo τ den eigenthümlichen Widerstand des Thones, λ die Dicke des Thonschildes bezeichnen. Da in dem hinzugetretenen Gliede der Querschnitt des innerlich polarisirbaren Körpers nicht mehr mit der Länge zusammen in der Art vorkommt, dafs dadurch der Widerstand jenes Körpers ausgedrückt wird, sofern er von den Dimensionen abhängt, so würde, wenn dies Glied einen grofsen Einfluſs übte, die Schlufsfolge, auf deren Bestätigung im Versuch es hier abgesehen ist, in ihren Vordersätzen untergraben. Es mufs also darauf geachtet werden, dafs $2\tau\lambda : q$ möglichst klein sei, was, da τ durch die Natur der Dinge und q durch den angewandten Stab gegeben sind, nur dadurch geschehen kann, dafs man λ möglichst klein, d. h. die Thonschilde möglichst dünn nimmt.

Um die secundär-elektromotorische Wirkung von den Stäben abzuleiten, wurden denselben die mit doppelten Eiweifshäutchen bekleideten Schneiden der Keilbäusche angelegt; wenn die Stäbe nicht quadratisch waren, der einen breiten Seite, allen aber an zwei im voraus bezeichneten, von ihren beiden Enden gleich weit entfernten und zwar so gewählten Stellen, dafs $m = \frac{11}{12}$.

Einige Vorversuche lehrten, dafs, um am Multiplicator für den Nervenstrom einen Ausschlag von passender Gröfse durch die secundär-elektromotorische Wirkung dieser Stäbe zu erhalten, zehn Grove'sche Glieder mit der $^1/_n$''-Scheibe des Uhrwerkes angewendet werden mufsten (S. oben S. 392). Diese Anordnung wurde beibehalten, da anzunehmen war, dafs der Widerstand der mit destillirtem Wasser getränkten Stäbe noch immer grofs genug war im Vergleich zu dem der zehngliederigen Grove'schen Säule, damit nicht eine Annäherung an den durch (IV) ausgedrückten Zustand stattfinde, während es aus Gründen, die ich hier noch nicht erörtern mag, zweckmäfsig schien, die Schliefsung des Säulenkreises möglichst kurz dauern zu lassen.

Die Stärke des ursprünglichen Stromes mufste begreiflich mit allen Stäben dieselbe sein. Um sie hinlänglich genau zu bestimmen, reichte

Digitized by Google

das bisher angewendete Vertical-Galvanoskop nicht mehr aus. Es wurde hier, und von hier ab häufig bei dieser Art von Versuchen, ersetzt durch eine WIEDEMANN'sche Bussole mit verschiebbaren Rollen und einem in dämpfender Kupferhülse schwebenden Stahlspiegel, der zugleich als Magnet dient, und dessen Ablenkungen mit Fernrohr und Scale abgelesen werden.[1] Diese Bussolen eignen sich, der starken darin stattfindenden Dämpfung halber, ganz besonders dazu, den Gang unbeständiger Ströme zu verfolgen, wie derer, mit welchen wir in unserem Gebiete es meist zu thun haben, und der grosse Spielraum ihrer Empfindlichkeit erweist sich gleichfalls als sehr nützlich.

Ich bediente mich zuerst eines im Besitz des Herrn Dr. FRANZ, der mir den Gebrauch desselben freundlichst gestattete, befindlichen vollständigen Apparates der Art; später einer von Herrn SAUERWALD gebauten WIEDEMANN'schen Bussole, und eines dem physiologischen Laboratorium des Königlichen Anatomischen Museums gehörigen Fernrohres von C. A. STEINHEIL in München. Mit letzterem Apparat betrug der Abstand der Scale vom Spiegel 2285 ^{mm}, der Werth eines Scalentheiles also etwas über 45″. In den Grenzen der Scale durften somit die Stromstärken unbedenklich den Ablenkungen proportional gesetzt werden.

Bei den jetzigen Versuchen war die Bussole mit nur wenigen Windungen (53 oder 106) versehen, welche sich in mehreren Centimetern Abstand vom Spiegel befanden. Uebrigens bot sie hier noch einen Vortheil. Der Spiegel schwang so viel schneller als das Nadelpaar des Multiplicators für den Nervenstrom, daſs es keine Schwierigkeit hatte, zuerst den Ausschlag durch den ursprünglichen Strom, dann den durch die secundär-elektromotorische Wirkung zu beobachten.

Es wurden nun nach einander, jedoch ohne in Bezug auf die absolute Gröſse der Stäbe irgend eine Ordnung zu beobachten, mit jedem der beiden zu einem Paare gehörigen Stäbe vier Versuche angestellt. Bei zweien ging der Strom in der einen, bei den beiden anderen in der anderen Richtung durch die Stäbe. Die Zahlen in der folgenden Tabelle sind demnach Mittel aus acht Ablesungen. Die Zahlen in der mit *U* bezeichneten wagerechten Reihe sind die Ausschläge durch den ursprünglichen Strom in Scalentheilen, die in der mit *S* bezeichneten Reihe die Ausschläge durch die secundär-elektromotorische Wirkung in Graden der Nervenmultiplicator-Theilung.

	I	II	III	IV	V
U	38.2	49.9	34.9	45.4	46.0
S	55.8	59.5	45.7	53.6	50.6

[1] POGGENDORFF's Annalen u. s. w. 1853. Bd. LXXXIX. S. 504. Anm. *

Digitized by Google

Die Zahlen der zweiten Reihe stimmen zwar nicht besonders, indem die unter II und III eine etwas grofse Abweichung vom Mittel zeigen. Da aber die Zahlen der ersten Reihe in demselben Sinne abweichen, so ist klar, dafs in diesen Fällen, aus irgend einem Grunde, das Product aus Stärke in Dauer des ursprünglichen Stromes beziehlich gröfser oder kleiner war als sonst. Erwägt man, dafs während die absoluten Dimensionen der Stäbe so aufserordentlich wachsen, die Zahlen, welche die ungefähre Gröfse der secundären Wirkung bemessen, sich beinahe gleich bleiben und höchstens spurweise eine Abnahme nach der Richtung der wachsenden absoluten Dimensionen erkennen lassen; nimmt man hinzu die zahlreichen Fehlerquellen, als da sind verschiedene Leitungsfähigkeit und Polarisirbarkeit des Holzes, rascheres Austrocknen der Stäbe von kleinerem Querschnitt, verschiedene Leitungsfähigkeit und Dicke der Thonschilde, verschiedene Dauer der Schliefsung des Säulenkreises (da das Uhrwerk bei so kurzen Zeiträumen etwas weniger verläfslich arbeitet), verschiedenes Anlegen der Keilbäusche, Austrocknen der Eiweifshäutchen und Eindringen des Salzes in dieselben, u. d. m.: so gelangt man zu dem Schlusse, dafs das theoretisch vorhergesehene Gesetz sich im Versuch hinreichend bewährt habe um annehmen zu können, dafs es nicht allzuweit von der Wahrheit abweiche. In diesem Schlusse wird man noch bestärkt durch die Wahrnehmung, zu der uns alsbald Gelegenheit werden wird, wie rasch und gesetzmäfsig die secundär-elektromotorischen Wirkungen sich verändern, sobald nicht blofs die absoluten, sondern auch die relativen Dimensionen des innerlich polarisirbaren Körpers sich verändern.

II. *Maximum in Bezug auf L.*

Demnächst versuchte ich nämlich jetzt, das durch die Rechnung verkündigte Maximum der secundär-elektromotorischen Wirkung in Bezug auf den Leitungswiderstand des innerlich polarisirbaren Körpers, sofern er durch die Dimensionen bestimmt wird, nachzuweisen, und zwar zuerst indem ich, bei beständigem Querschnitt, allein die Länge wachsen liefs. Zu diesem Zweck brachte ich auf der einen schmalen Seite eines der beiden in der vorigen Versuchsreihe mit V bezeichneten, $6'' = 156^{mm}$ langen, mit destillirtem Wasser getränkten weifsbuchenen Stäbe eine willkürliche Theilung an, deren Grade beiläufig sehr nahe $= 2^{mm}$ waren. Der Stab wurde mit dem einen Ende eingeklemmt, so dafs er wagerecht frei schwebte. An die eine seiner dabei senkrecht gestellten breiten Seitenflächen wurden die mit doppelten Eiweifshäutchen bekleideten Keilbäusche des Säulenkreises, an die andere, jenen genau gegenüber, die des Multiplicatorkreises gelegt, so dafs also m hier $= 1$ war. Der ursprüngliche

Digitized by Google

Strom wurde von nur fünf GROVE'schen Elementen geliefert. Die Dauer der Durchströmung war auch hier nur $^1/_n$". Ich gebe die Zahlen einer Versuchsreihe in Mitteln aus zwei Beobachtungen mit verschiedener Richtung des ursprünglichen Stromes.

L	No.	U	S	No.	U	S
5	1	75.5	3.7	26	53.7	3.0
10	2	54.5	17.5	25	39.0	7.0
15	3	39.2	26.2	24	35.0	22.0
20	4	34.2	34.0	23	31.7	30.5
25	5	25.5	30.5	22	27.5	31.7
30	6	23.7	30.0	21	24.0	30.2
35	7	23.2	32.5	20	22.7	31.5
40	8	19.7	29.2	19	19.2	26.5
45	9	16.7	26.0	18	20.0	30.0
50	10	16.0	25.5	17	15.5	24.2
60	11	12.0	22.0	16	15.2	26.2
70	12	9.7	19.0	15	11.5	20.0
80	13	9.4	17.0	14	9.2	16.5

In dieser Tabelle zeigt die erste Columne (L) die zwischen den beiden Paaren von Querbäuschen begriffenen Längen des feuchten Holzstabes in Graden jener willkürlichen Theilung an; die zweite und fünfte (No.) enthalten die Nummern der Versuche; die mit S und U bezeichneten haben dieselbe Bedeutung wie in der vorigen Tabelle. Beim Verfolgen der Versuchsnummern bemerkt man, daſs ich zuerst L von 5 bis auf 80° wachsen und dann wieder bis auf 5° sinken lieſs. Dies hatte zum Zweck die Veränderungen der verschiedenen Theile der Vorrichtung, die während der mehrere Stunden langen Dauer des Versuches nicht wohl zu vermeiden waren, unschädlich zu machen. Man sieht, daſs unserer Vorhersicht gemäſs, ein Maximum der secundär-elektromotorischen Wirkung in Bezug auf die Länge des innerlich polarisirbaren feuchten Leiters wirklich stattfindet. Dasselbe liegt zwischen den Längen 20° und 35°. Die Ausschläge schwanken hier so wenig, daſs ihre Unterschiede innerhalb der Grenzen bleiben, zwischen denen sie sich auch ohne Veränderung der Länge zeigen würden, wenn die Keilbäusche mehrmals entfernt und wieder hinangeschoben worden wären. Jenseits des Maximums nimmt die secundär-elektromotorische Wirkung weit langsamer ab, als sie diesseits desselben anstieg.

Ähnliche Versuche mit gleichem Erfolg, wenn auch nicht so wohl

Digitized by Google

ausgesprochener Gesetzmäfsigkeit der Zahlen, habe ich auch noch mit dem oben S. 450 mit III bezeichneten Stäbepaar angestellt.

III. *Maximum in Bezug auf q.*

Nunmehr handelte es sich darum, das Dasein eines Maximums auch in Bezug auf q, bei beständig gehaltenem L, nachzuweisen. Dies hatte sehr viel gröfsere Schwierigkeiten. Erstens giebt es keine Art den Querschnitt des innerlich polarisirbaren feuchten Leiters mit solcher Leichtigkeit zu verändern, wie die beim Versuch in Betracht kommende Länge desselben, und zweitens wird der Vergröfserung des Querschnittes durch die Mafse der Bäusche sehr bald eine nicht zu überschreitende Grenze gesetzt, wenn nicht ganz andere Einrichtungen nöthig werden sollen.

Zuerst schnitt ich aus grofsen Kartoffeln Prismen von ungefähr 40^{mm} Länge und möglichst grofsem Querschnitt, klemmte sie, an ihren Grundflächen mit möglichst dünnen Thonschilden versehen, zwischen die Zuleitungsbäusche der Säule ein, und legte ihnen die mit doppelten Eiweifshäutchen bekleideten Keilbäusche des Multiplicatorkreises an. Es zeigte sich, dafs bei 1″ langer Dauer des ursprünglichen Stromes dreifsig Grove'sche Glieder nothwendig waren, um am Multiplicator für den Nervenstrom eine secundär-elektromotorische Wirkung von passender Stärke zu erzeugen. Ich spaltete nun das Prisma der Länge nach, beobachtete abermals die secundär-elektromotorische Wirkung, und so fort, bis ich das Prisma auf einen ganz dünnen Streifen des Kartoffelgewebes zurückgeführt hatte. Allein nur in seltenen Fällen gab sich, und auch nicht ganz überzeugend, anfangs eine Verstärkung, und erst später eine Schwächung der Wirkung in Folge der Verdünnung des Prisma's kund. Nur das zeigte sich allerdings, dafs von einer gewissen Grenze an die Wirkungen mit weiter wachsender Dicke nicht mehr merklich zunehmen. Unter der Voraussetzung, dafs ein Maximum wirklich vorhanden und die Formel (III) richtig sei, war es deutlich, dafs dasselbe in diesen Versuchen nicht erreicht werden konnte, weil die Bäusche sowohl, als die Kartoffeln, vermöge ihrer absoluten Dimensionen, nicht die Anwendung eines Prisma's von solchem Querschnitt erlaubten, dafs die in (III) ausgesprochene Bedingung erfüllt würde. Es konnte aber, von den im Zähler stehenden Factoren dieses Ausdrucks, σ naturgemäfs nicht verkleinert werden. L konnte es deshalb nicht, weil alsdann die Gesetze der linearen Stromvertheilung auch nicht mehr annähernd anwendbar gewesen wären, und weil dadurch die secundär-elektromotorische Wirkung selber zu sehr geschwächt worden wäre. Aus demselben Grunde kann

Digitized by Google

die Verkleinerung von m nicht viel helfen, die ich übrigens fruchtlos bis zu $m = \frac{1}{2}$ trieb.

Eben so unglücklich war ich mit aus Thon gekneteten Stäben von verschiedenem Querschnitt, und mit balkenförmigen Fliefspapierbäuschen, die mit destillirtem Wasser getränkt waren, und von denen ich Schicht um Schicht ablöste um ihren Querschnitt allmälig zu verkleinern. Indessen führte mich dieser letztere Versuch auf den Gedanken der Methode, mit deren Hilfe es mir zuletzt doch gelang, das Maximum der secundär-elektromotorischen Wirkung auch in Bezug auf den Querschnitt darzuthun.

Es war nämlich klar, dafs es sich darum handelte, einen innerlich polarisirbaren Körper von geringerem eigenthümlichen Widerstande zu haben, als Kartoffelgewebe, Thon, Fliefspapier mit Wasser getränkt. Ein solcher ist das mit einer Salzlösung getränkte Holz, welches sich damit noch immer, obschon bei weitem nicht so stark wie mit Wasser, kräftiger secundär-elektromotorischer Wirkungen fähig zeigt (S. oben S. 438). Die Anwendung des Holzes bot aber eine doppelte Schwierigkeit. Erstens die, es vollkommen gleichmäfsig mit der so schwer darin eindringenden Salzlösung zu tränken, zweitens die, dafs man nicht weifs, wie man den Querschnitt nach Belieben veränderlich machen könne. Denn daran, ein feuchtes Holzprisma etwa zu spalten oder mit der Säge allmälig zu verkleinern, war aus vielerlei Gründen nicht zu denken.

Ich half mir folgendermafsen. Aus Birkenfournier liefs ich eine hinlängliche Anzahl Streifen von 6″ (156^{mm}) Länge, $\frac{1}{2}$″ (13^{mm}) Breite und $\frac{1}{16}$″ (1.625^{mm}) Dicke schneiden. Einen Theil davon sott ich in gesättigter Kochsalzlösung bis sie darin untersanken. Auf die in passenden Abstand gerückten Zuleitungsbäusche der Säule legte ich nun zuerst einen Streifen mit seinen beiden Enden flach auf, gegen Verunreinigung mit dem Kupfersalz durch ein Thonschild geschützt. An die eine Kante des Streifens schob ich, in geringer Entfernung von dessen Enden, die Keilbäusche des Multiplicatorkreises, hier natürlich ohne Eiweifshäutchen, da ja der Streifen gleichfalls mit Kochsalzlösung getränkt war. Nachdem die secundär-elektromotorische Wirkung unter diesen Umständen bestimmt war, legte ich auf den ersten Streifen einen zweiten, auf diesen einen dritten, und so fort nach Bedürfnifs, indem ich Sorge trug, dafs die Kante der Streifen stets in genaue Berührung mit den Schneiden der Keilbäusche kam. Die Säule mufste, bei $\frac{1}{n}$″ dauerndem Durchgang des Stromes, dreifsiggliederig genommen werden. Die secundäre Wirkung wurde wie bisher am Multiplicator für den Nervenstrom, die ursprüngliche an der Spiegelbussole beobachtet. In der folgenden Tabelle, deren Zahlen das Mittel aus vier Ablesungen bei verschiedener

Digitized by Google

Richtung des ursprünglichen Stromes, und bei wachsender und abnehmender Anzahl der Streifen sind, bedeuten die obersten Zahlen die Anzahl der angewandten Fournierstreifen.

	1	2	3	4	5	6	8
U	27.7	33.1	42.0	44.1	44.5	45.0	46.5
S	5.0	6.7	4.0	4.1	2.8	?	?

Bei 6, vollends bei 8 Streifen fand nur noch eine ungewisse Spur secundär-elektromotorischer Wirkung statt.

Da, bei verschwindendem Querschnitt des innerlich polarisirbaren Körpers, die secundär-elektromotorische Wirkung nothwendig gleichfalls verschwinden mufs, so ist durch diese Versuchsreihe nunmehr ein Maximum jener Wirkung auch in Bezug auf den Querschnitt erwiesen, wenn gleich die derselben entsprechenden Zahlen von 1 bis 2 Streifen nur unbedeutend wachsen.

Besser spricht sich das Gesetz in folgender Versuchsreihe aus, welche mit ähnlichen Streifen angestellt wurde, die ich aber, statt in Kochsalzlösung, in schwefelsaurer Kupferoxydlösung gesotten hatte. Hier fielen die Thonschilde zwischen den Streifen und den Säulenbäuschen fort, hingegen ward es nöthig, die Keilbäusche mit mehreren Lagen Fliefspapier zu bekleiden, von denen die innersten mit Kochsalzlösung, die äufsersten mit schwefelsaurer Kupferoxydlösung getränkt waren. Die secundär-elektromotorische Wirkung war so sehr viel grösser (S. oben S. 438), dafs es genügte, fünf Grove'sche Glieder $^1/_n''$ lang einwirken zu lassen, aufserdem aber die Empfindlichkeit des Multiplicators für den Nervenstrom noch bedeutend gemäfsigt werden mufste. Die Zahlen in der mit $\frac{1}{2}$ bezeichneten senkrechten Spalte sind mit einem der Länge nach in zwei gleich breite Hälften zerschlitzten Fournierstreifen gewonnen.

	$\frac{1}{2}$	1	2	3	4	5	6	8	10
U	13.2	19.6	47.3	60.6	67.2	65.7	68.2	67.0	56.3
S	10.7	19.6	22.6	19.0	11.7	11.0	7.7	5.5	3.0

Das Dasein eines Maximums in Bezug auf den Querschnitt ist hiernach nicht zu bezweifeln. Befremdend ist jedoch, dafs mit der Kupferlösung das Maximum wie mit der Salzlösung bereits bei zwei Dicken erreicht wurde. Nach Formel (III) hätte man erwarten sollen, dafs, wegen des gröfseren σ und des kleineren SM, das dem Maximum entsprechende q mit der Kupferlösung gröfser hätte sein müssen. Dagegen

Digitized by Google

ist es aber doch eingetroffen, dafs mit den mit Salzlösungen getränkten Holzstreifen das Maximum bei einem viel geringeren Querschnitt erreicht wurde, als mit den mit destillirtem Wasser getränkten Fliefspapierbäuschen, dem Thon und den aus Kartoffeln geschnittenen Prismen.

Diese Versuche beweisen somit hinlänglich streng Folgendes: Die Stärke der secundär-elektromotorischen Wirkung innerlich polarisirbarer Körper ist eine Function des Widerstandes dieser Körper, sofern derselbe durch die Dimensionen bestimmt wird. Diese Function besitzt ein Maximum, welches bei beständiger Länge und wachsendem eigenthümlichen Widerstande der innerlich polarisirbaren Körper in Bezug auf q weiter hinausrückt. Bei weiter wachsendem Querschnitt verschwindet die secundär-elektromotorische Wirkung.

Diese Ergebnisse stimmen mit der obigen Theorie überein, und sind zum Theil eigenthümlich genug, um es wahrscheinlich zu machen, dafs diese Übereinstimmung nicht auf einem blofsen Zufall beruhe.

Weiter bin ich in dieser Richtung nicht fortgeschritten. Das Bisherige genügt für unsere Zwecke, und diese Prüfungen erwiesen sich doch auch bei so lockerer Behandlung viel schwieriger, als dafs es sich der Mühe verlohnt hätte, damit weiter fortzufahren.

(VII) Von der absoluten und relativen Gröfse der inneren Polarisation, und von einem eigenthümlichen Widerstandsphaenomen, welches sich bei Beobachtung dieser Polarisation im Kreise der sie erzeugenden Säule zu erkennen giebt.

Was die absolute Gröfse der inneren Polarisation betrifft, so bin ich leider so wenig wie für die Polarisation an der Grenze von Elektrolyten im Stande, eine genaue Bestimmung darüber mitzutheilen. Ich kann nur sagen, dafs sie letztere übertrifft, indem, wie wir oben S. 437 fanden, die innere Polarisation eines frischen holzigen Zweiges von den oft genannten Mafsen durch den 15″ dauernden Strom von fünf Grove'schen Gliedern die Nadel des Muskelmultiplicators an die Hemmung führt. Die innere Polarisation ist daher den gewöhnlichen Beobachtungsmitteln weit eher zugänglich, als die Polarisation an der Grenze von Elektrolyten, ja es gelingt ohne besondere Schwierigkeit, sie im Kreise der sie erzeugenden Säule selber sichtbar zu machen. Dabei giebt sich jedoch noch eine andere, sehr bemerkenswerthe Erscheinung kund.

Um dieselbe ordentlich zu beobachten, ist es wieder nöthig, die Wiedemann'sche Bussole, in der oben S. 450 beschriebenen Verfassung, an Stelle des Vertical-Galvanoskops im Kreise der Säule und des innerlich polarisirbaren Körpers zu haben. Ferner müssen die Zuleitungs-

Digitized by Google

gefäfse, und der irgendwie beschaffene Leiter zwischen denselben, mit Säule und Bussole durch einen POHL'schen Stromwender verbunden sein, der darin die Richtung des Stromes umkehrt, während sie in der Bussole dieselbe bleibt.

Zuerst überzeugte ich mich ausdrücklich, dafs bei Abwesenheit eines feuchten porösen Leiters im Kreise, wenn entweder ein Schliefsungsrohr die Zuleitungsgefäfse oder ein Schliefsungsbausch die Zuleitungsbäusche verband, der Strom beständig blieb. Nicht nur sank die Ablenkung nicht, auch bei noch so langer Dauer der Schliefsung, innerhalb der durch die Natur der Dinge gesteckten Grenzen, sondern man sah sie anfangs sogar bis zu einem gewissen Punkte wachsen, unstreitig in Folge der mit der Hand fühlbaren Erwärmung des Schliefsungsrohres oder -bausches. Wurde die Wippe umgelegt, so sah man den Spiegel um ein paar Scalentheile zurückweichen, und dann äufserst nahe wieder seine vorige Stellung einnehmen. Kupfer in gesättigter Kupfersulphatlösung ist zwar der Polarisation nicht ganz unfähig (S. oben Abth. I. S. 149), allein diese Polarisation ist doch kleiner, als dafs der daraus entspringende Kraftzuwachs in den ersten Augenblicken nach der Umkehr des Stromes in den Zuleitungsgefäfsen, selbst bei nur einer GROVE'schen Kette im Kreise, vermocht hätte, den Ausfall an ablenkenden Kräften während des Umlegens der Wippe zu decken, geschweige zu überwiegen.

Anders gestaltet sich die Erscheinung, wenn anstatt des Schliefsungsrohres oder -bausches gewisse feuchte poröse Körper den Kreis schliefsen. Oft sieht man dann vom Augenblick des Kettenschlusses ab den Strom mit reifsender Geschwindigkeit sinken. Es hat den Anschein, als befänden sich im Kreise mehrere stark polarisirbare metallische Zwischenplatten. Nach etwa 15 Minuten ist das Sinken unmerklich geworden. Von der ursprünglichen Stromstärke, welche zwanzig GROVE'sche Glieder erzeugten, ist dann vielleicht nur noch ein Zehntel übrig. Nun sollte man erwarten, beim Umlegen der Wippe einen mächtigen positiven Ausschlag erfolgen zu sehen, als Wirkung der secundär-elektromotorischen Gegenkraft, die, allen bisherigen Vorstellungen gemäfs, doch allein das Sinken bedingt haben kann, und sich jetzt zur Kraft der Säule hinzufügen mufs. Man sagt sich indessen schon, wie unwahrscheinlich es sei, dafs hier eine secundär-elektromotorische Gegenkraft, achtzehn GROVE-schen Gliedern entsprechend, sollte entstanden sein. Und in der That, nur in einigen Fällen, wo wirklich starke innere Polarisation die neue hier sich einmischende Wirkung begleitet, nur bei nicht zu grofser elektromotorischer Kraft der Säule, und nach nicht zu langer Dauer des Stromes erfolgt beim Umlegen der Wippe ein kleiner rascher positiver Sprung des Spiegels, den man der Polarisation zuschreiben kann. Unter

Digitized by Google

anderen Bedingungen erscheint an Stelle des Sprunges derselbe kleine, auf dem Ausfall an ablenkenden Kräften während des Umlegens der Wippe beruhende Rückgang des Spiegels, wie wenn kein feuchter poröser Körper dagewesen wäre. In beiden Fällen aber, gleichviel ob der das Umlegen der Wippe begleitende Ruck des Spiegels positiv oder negativ war, hebt sich unmittelbar darauf die Stromstärke allmälig mit solcher Geschwindigkeit, dafs man die Theilung stetig durch das Gesichtsfeld ziehen sieht. Mit anderen Worten, es bietet sich das merkwürdige Schauspiel eines viele Minuten lang anhaltenden langsamen Wachsens der Stromstärke, welche fast ihre ursprüngliche Höhe wieder erreicht. Aber auf dieser Höhe verweilt sie nur einen Augenblick. Sofort beginnt sie wieder zu sinken bis zu ungefähr der vorigen Grenze, und so kann sich der Wechsel langsamen Sinkens und Ansteigens, unterbrochen beim Umlegen der Wippe durch einen kleinen, raschen, positiven Sprung, oder durch einen flüchtigen Rückgang des Spiegels um einige Scalentheile, noch mehrmals erneuern, bis zuletzt durch Erwärmung, Trockniſs und Eindringen des Kupfersalzes die Erscheinungen unregelmäfsig werden.

Das langsame Wachsen der Stromstärke nach dem Umkehren des Stromes im feuchten porösen Körper kann nicht durch Polarisation erklärt werden. Die einzige Art, es zu verstehen, ist sich vorzustellen, dafs es durch das Verschwinden eines Widerstandes bedingt sei, den der Strom in der einen Richtung erzeugte, in der anderen allmälig wieder aufhebt, und den man also, nach Analogie der secundär-elektromotorischen Erscheinungen, passend den secundären Widerstand nennen wird.

Wie man sieht, sind wir unerwartet auf eine neue wichtige Eigenschaft gestofsen, welche die feuchten porösen Körper in Stromkreisen entfalten. Natürlich ist deren genaue Untersuchung eine neue Vorbedingung für die Ermittelungen, welche eigentlich hier unser Zweck sind, für die Erforschung der secundär-elektromotorischen Wirkungen der Muskeln und Nerven. Ja noch mehr: sofern es sehr wahrscheinlich ist, dafs auch Muskeln und Nerven jene Eigenschaft besitzen, bildet deren Untersuchung eine Vorbedingung auch für alle weiteren, die primär-elektromotorischen Wirkungen der Muskeln und Nerven, und ihre elektrische Reizung betreffenden Versuche.

Die Folge wird zeigen, dafs bei näherer Prüfung die Lehre vom secundären Widerstand eine höchst verwickelte Gestalt annimmt; dafs es, gewissermafsen entsprechend der Polarisation an der Grenze von Elektrolyten und der inneren Polarisation der feuchten porösen Körper, zwei Arten jenes Widerstandes giebt, einen äufseren und einen inneren secundären Widerstand. Unter diesen Umständen ist es unmöglich, den secundären Widerstand hier als blofsen Anhang zur inneren Polarisation

Digitized by Google

abzuhandeln, deren Erforschung uns zu seiner Entdeckung führte. Er verdient einen eigenen Platz in diesen Untersuchungen, der ihm auch werden soll, sobald wir nur erst der inneren Polarisation bis zu einem gewissen Punkte Herr wurden.

(VIII) Nachahmung der inneren Polarisation mittels der gewöhnlichen Ladungen metallischer oder metallisch leitender Elektroden.

Aus den oben S. 443. 444 angegebenen Gesetzen der inneren Polarisation folgte schon genügend die Richtigkeit der Vorstellung, die wir uns sehr früh von der Vertheilung der secundär-elektromotorischen Kräfte im innerlich polarisirten Körper machten (S. Bd. I. S. 380 und oben S. 380). Um unsere Vorstellung zu versinnlichen, haben wir uns damals sogleich des Bildes bedient: die Vertheilung jener Kräfte sei dieselbe, welche sie sein würde in einer mit einem Elektrolyten getränkten und durchströmten Masse Platinschwamm oder Kohle, die dem Strom nach allen Richtungen eine dichtgedrängte Reihe unzähliger, metallisch polarisirbarer Zwischenplatten darböte. Ehe wir dazu schreiten, das Wesen der inneren Polarisation etwas näher zu ergründen, wird es angemessen sein, uns nicht mehr blofs mit Aufstellung dieses Gleichnisses zu begnügen, sondern zu versuchen, es thatsächlich zu begründen, d. h. die secundär-elektromotorischen Erscheinungen an einem metallisch polarisirbaren, mit einem Elektrolyten getränkten porösen Körper wirklich zu beobachten.

Mit Platinschwamm habe ich den beabsichtigten Versuch noch nicht angestellt. Hinreichend grofse Massen Schwamm sind nicht leicht zu bekommen, und selbst wenn man darüber verfügte, würde es seine Schwierigkeit haben, denselben die Gestalt eines prismatischen Körpers von gleichartigem Gefüge seiner Querscheiben zu ertheilen und diesem Körper Zuleitungs- und Keilbäusche anzulegen.[1]

Mit Kohle dagegen schien der Versuch wohl ausführbar. Die Leitungsfähigkeit der Kohle wurde von PRIESTLEY am 4. Mai 1766 entdeckt.[2]

[1] Ich habe später einmal, durch die Güte des Herrn Prof. G. QUINCKE, über eine hinreichende Menge Platinschwamm verfügt, jedoch nichts daran nachgewiesen, als die Polarisation, wie auch eine zusammenhängende Platinmasse sie gezeigt hätte. (Über den secundären Widerstand, ein durch den Strom bewirktes Widerstandsphänomen an feuchten porösen Körpern. Monatsberichte der Berliner Akademie, 1860. S. 895.) Ohne darüber bestimmte Angaben machen zu können, mufs ich schliefsen, dafs es mir aus dem im Text angedeuteten Grunde unmöglich schien oder war, etwas über die innere Polarisirbarkeit zu ermitteln.

[2] The History and present State of Electricity, with original Experiments etc.

Digitized by Google

Im Laufe seiner Reizversuche fand VOLTA bald, dafs die Kohle sich dabei den negativeren Metallen ähnlich verhalte, dafs aber nur wohlausgeglühte Holzkohle (il carbone di legno ben cotto) sich dergestalt wirksam zeige.[1] Dafs unter den gewöhnlichen Umständen Kohle und Graphit auch Polarisation annehmen wie die negativeren Metalle, wurde dann gleich von J. W. RITTER bei Gelegenheit seiner Entdeckung der Ladungssäule hinzugefügt, und seitdem von vielen Anderen bestätigt.[2] Die von uns in der Kohle vorausgesetzten Bedingungen sind also erfahrungsmäfsig vorhanden.

Von der Königlichen Pulverfabrik in Spandau erhielt ich durch meinen Freund Herrn Dr. G. WERTHER verkohlte Zweige von Erlen (Alnus sp.) und Faulbaum (Rhamnus frangula LINN.). Die Zweige stellten Cylinder von 8—15^{mm} Durchmesser dar, und die benutzten Stücke hatten etwa 50^{mm} Länge. Diese Kohle war, wie ihre Bestimmung es mit sich brachte, nur schwach geglüht,[3] und leitete daher, VOLTA's Angabe gemäfs, im trockenen Zustande nicht. Tränkte ich sie mit Kochsalzlösung, so wurde sie leitend, zeigte aber meist keine innere Polarisirbarkeit. Ebenso verhielten sich Stücke von gewöhnlicher Meilerkohle aus irgend einer einheimischen Coniferen-Art, denen sich durch Schnitzen und Feilen leicht die bei diesen Versuchen hergebrachte prismatische oder cylindrische Form ertheilen liefs. Erst nachdem ich solche Kohle, in Blattkupfer gewickelt, über der BERZELIUS-Lampe gehörig ausgeglüht hatte, entfaltete sie die von mir vermutheten Eigenschaften.

Liefs ich ein geglühtes cylindrisches Kohlenstück, mit gesättigter Kochsalzlösung getränkt, die Querbäusche mit seinen Grundflächen berühren, so stellten sich meist zuerst heftige Nadelbewegungen ein, die von einer der Kohle innewohnenden Ungleichartigkeit herrührten, und früher oder später, vermuthlich durch Polarisation, mehr oder weniger vollkommen verschwanden. Sandte ich nun einen Strom hindurch, so erfolgte, bei Schliefsung des Multiplicator- nach Öffnung des Säulen-

The 2^{d} Edition etc. London 1769. 4^{0}. p. 570;* — übersetzt von KRÜNITZ. Berlin und Stralsund 1772. 4^{0}. S. 398.*

[1] Memoria terza sull' Elettricità animale compresa in una Lettera diretta al Signor GIOVANNI ALDINI. 24 Novembre 1792. Collezione dell' Opere del Cav. Conte ALESSANDRO VOLTA ec. Firenze 1816. t. II. p. I. p. 192.* — S. auch daselbst p. 198. 224 e seg. Nota. p. 237. Nota. p. 241. Nota, und vgl. oben Bd. I. S. 61. 68.

[2] Physisch-chemische Abhandlungen in chronologischer Ordnung. Leipzig 1806. Bd. III. S. 107;* — GILBERT's Annalen der Physik. 1806. Bd. XXIII. S. 203. Anm.* — Vgl. aus älterer Zeit noch P. ERMAN in GILBERT's Annalen u. s. w. 1807. Bd. XXVI. S. 132;* — PFAFF in SCHWEIGGER's Journal der Chemie und Physik. 1828. Bd. LIII. S. 396.*

[3] V. REGNAULT, Cours élémentaire de Chimie. 4^{e}Éd. Paris 1854. t. II. p. 298. 299.*

Digitized by Google

kreises, ein negativer Ausschlag, um so gröfser, je stärker und je anhaltender der ursprüngliche Strom gewesen war. Unter sonst gleichen Umständen war die Wirkung mit verschiedenen Kohlenstücken nicht stets von gleicher Stärke. Nicht selten aber reichte schon 1″ lange Schliefsung einer einzigen Grove'schen Kette aus, um durch die secundär-elektromotorische Wirkung der Kohle die Nadel des Nervenmultiplicators mit äufserster Heftigkeit an die Hemmung zu werfen, die des Muskelmultiplicators beträchtlich abzulenken.

Legte ich den Grundflächen des Kohlencylinders die Zuleitungsbäusche der Säule unmittelbar, und zweien Punkten seines Mantels die Schneiden der Keilbäusche in der Art an, wie oben S. 426 den balkenförmigen Bäuschen, so erhielt ich gleichfalls starke negative Ausschläge in Folge der Durchströmung. Bei dieser Versuchsweise konnte bekanntlich das Kohlenstück mit beliebigen Flüssigkeiten getränkt sein, ohne dafs man Gefahr lief, durch die äufsere Polarisation an der Grenze feuchter Leiter getäuscht zu werden. Demgemäfs wurden als tränkende Flüssigkeiten versucht verdünnte Schwefelsäure und gesättigte Kupfersulphatlösung. Um die Kohle mit den Flüssigkeiten zu tränken, wurde sie glühend darin abgelöscht, und noch eine Zeit lang darin gesotten. Die Schneiden der Keilbäusche erhielten einen doppelten Überzug, zuerst von einigen Lagen mit Kochsalzlösung getränkten Fliefspapieres zu ihrem eigenen Schutz gegen die Flüssigkeiten der Kohle, dann noch von einigen Lagen mit der Flüssigkeit der Kohle getränkten Fliefspapieres zum Schutze der Kohle gegen die Kochsalzlösung der Bäusche. Der Erfolg war bei beiden Flüssigkeiten starke negative Wirkung.

Bei Anwendung der Keilbäusche zum Ableiten des secundären Stromes liefs sich leicht zeigen, dafs unserer Voraussicht gemäfs jede irgendwo gelegene noch so kurze Strecke des von Grundfläche zu Grundfläche durchströmten Kohlencylinders in derselben Richtung secundär-elektromotorisch wirkt. Man braucht dazu eben nur mit den in beständigem, beliebig kleinem Abstand von einander gehaltenen Keilbäuschen dem Mantel des Kohlencylinders entlang zu rücken, wobei man auch letzteren noch um seine Axe drehen kann. Demgemäfs mufs die elektromotorische Kraft, mit der die Kohle im Multiplicatorkreise wirkt, um so gröfser sein, eine je längere Strecke die beiden Keilbäusche umfassen. Auch dies bestätigte sich, als ich bei Gegenwart eines Widerstandes im Multiplicatorkreise, gegen welchen der der Kohle mehr oder minder verschwand, den Abstand der Keilbäusche veränderte. Die Stromstärke hielt dann mit diesem Abstande fast gleichen Schritt.

Es ist also klar, dafs geglühte und mit einem feuchten Leiter getränkte Kohle sich wirklich in der von uns vorausgesehenen Art secundär-

Digitized by Google

elektromotorisch verhält, d. h. dafs auf jedem Punkt ihres Inneren der primäre Strom eine seiner örtlichen Dichte entsprechende, umgekehrte elektromotorische Kraft erzeugt. Diese Kraft rührt her von der Ausscheidung elektropositiver und -negativer Stoffe an den beiden Flächen der zahllosen Kohlenplättchen, die, nach Art der Metalle leitend, und ebensoviel polarisirbare Zwischenplatten vorstellend, in die Strombahn eingeschaltet sind. Wir können diese Art der inneren Polarisation einstweilen die künstliche nennen im Gegensatze zur natürlichen, die den eigentlichen Gegenstand unserer jetzigen Untersuchung ausmacht. Wie man sieht, unterscheidet sich jene von dieser dadurch, dafs, während die natürliche innere Polarisation sich nur kundgiebt bei Tränkung der porösen Körper mit schlecht leitenden Flüssigkeiten, die künstliche innere Polarisation der Kohle hervortritt bei Tränkung mit so gut leitenden Elektrolyten, wie Kochsalzlösung, verdünnte Schwefelsäure, Kupfersulphatlösung.

So einfach, wie es nach dem Bisherigen scheinen könnte, ist indefs das secundär-elektromotorische Verhalten der Kohle nicht. Sondern es zeigt sich, bei weiterer Prüfung, dafs die Kohle neben der künstlichen, auch noch natürliche innere Polarisirbarkeit besitzt, ohne Zweifel einen Theil derjenigen, die dem unverkohlten Holz eigen war. Tränkt man nicht ausgeglühte, isolirende Kohle mit Wasser statt mit einer gutleitenden Flüssigkeit, so wird sie leitend, obschon natürlich nicht so gut wie mit der Kochsalzlösung, dafür zeigt sie aber einen hohen Grad innerer Polarisirbarkeit. Sie verhält sich also im Grunde noch ganz wie das nicht verkohlte Holz. Tränkt man ein Stück wohl ausgeglühter Kohle mit Wasser, so zeigt sie gleichfalls innere Polarisirbarkeit. Diese könnte man versucht sein, blofs für künstliche zu halten. Tränkt man aber ein und dasselbe Stück solcher Kohle erst mit Wasser, dann mit Kochsalzlösung, und unterwirft es in beiden Zuständen gleich lange dem Strome derselben Säule, so müfste, nach unseren jetzigen Voraussetzungen, die Polarisation im letzteren Falle die stärkere sein, wenn es sich blofs um künstliche innere Polarisation handelte. Das ist sie aber keinesweges immer, sondern sehr häufig ist sie bei Tränkung der Kohle mit Wasser sehr viel stärker als bei Tränkung der Kohle mit Salzlösung, obschon in diesem Fall der Strom der Säule eine viel gröfsere Stärke erreicht. Man kann diese Umstände, wie gesagt, vor der Hand so auffassen, als sei die Kohle aufser mit der künstlichen, auch noch begabt mit einem Theile der natürlichen inneren Polarisirbarkeit, die dem unverkohlten Holze zukam. Beim Tränken der ungeglühten Kohle mit Wasser habe man es mit der natürlichen inneren Polarisirbarkeit allein, beim Tränken der geglühten mit Wasser, mit beiden Arten der inneren

Digitized by Google

Polarisation zugleich zu thun. Hingegen beim Tränken der geglühten Kohle mit einem gut leitenden Elektrolyten falle die natürliche innere Polarisation fort, und es könne geschehen, dafs die Verstärkung der künstlichen inneren Polarisation durch die Salzlösung oder Säure den Verlust der natürlichen inneren Polarisation nicht ersetze.

Auf diese Art, die aber später noch eine wesentliche Abänderung und Vereinfachung erfahren wird, erklären sich allerdings die bisher beschriebenen Erscheinungen. Doch bleiben noch einige Umstände übrig, die sich dieser Auffassung nicht fügen. Der Art ist die oft sehr verschiedene innere Polarisirbarkeit, welche zwei aneinander stofsende Stücke desselben Zweiges auf ganz gleiche Weise behandelt zeigen, und welche soweit gehen kann, dafs während das eine mit der oben S. 461 beschriebenen Heftigkeit wirkt, das andere auch bei viel längerer Schliefsung einer viel stärkeren Kette oft nur Spuren secundär-elektromotorischer Wirkung giebt. Dies ist der Grund, weshalb oben zur Vergleichung der Polarisation der mit Wasser und der mit Salzlösung getränkten Kohle ein und dasselbe Stück Kohle benutzt wurde.[1]

Es kam vor, dafs Kohle, die trocken verhältnifsmäfsig besser leitete, mit gut leitenden Elektrolyten getränkt, durchaus keine Polarisation annahm. Ein Stück der oben erwähnten Meilerkohle befand sich in diesem Falle, und ebenso verhielt sich, mit verdünnter Schwefelsäure getränkt, eine Probe Bunsen'scher Kohle von unbekannter Herkunft. Sodann kam es vor, dafs Erlenkohle, die nicht von mir nachträglich ausgeglüht war, sich trocken als Nichtleiter verhielt, mit Kochsalzlösung getränkt dagegen schon von selbst starke elektromotorische Wirkungen gab, und auch lebhafte innere Polarisation annahm. Dies läfst sich allenfalls begreifen mit Hülfe der Annahme, dafs in dieser Kohle die nach Art der Metalle leitenden Kohlenplättchen noch durch ein Gerüst nicht leitender nicht gehörig verkohlter Holztheilchen getrennt waren. Bei Tränkung mit einer elektrolytisch leitenden Flüssigkeit setzte diese die metallisch leitenden Kohlenplättchen mit einander in Verbindung.

Solche Dunkelheiten, die nur mit Hülfe unbewiesener Voraussetzungen hinweggeräumt werden können, bieten sich noch mehrere dar und wegen aller dieser Verwickelungen zeigte sich also im Ganzen die Kohle denn doch meinem Zweck nicht entsprechend, die Erscheinungen der inneren

[1] Schon Volta sagte in Bezug auf seinen Kreis von Wahrnehmungen an verschiedenen Kohlen: „Pel carbone non so se molto influisca la diversa qualità di „legno: certo moltissimo fa la diversa cottura: ma vi saranno anche altre accidentali „differenze. Il fatto è, che differiscono quasi sempre notabilmente due pezzi di car„bone, e non di raro lo stesso pezzo in diversi punti". Collezione dell' Opere ec. t. II. p. I. p. 226. Nota.*

Digitized by Google

Polarisation mittelst der gewöhnlichen Ladungen metallisch leitender Elektroden nachzuahmen. Ich sann daher auf ein anderes Mittel, um diesen Zweck zu erreichen, und fand dasselbe bald in folgendem Kunstgriff.

Ich rührte starken Leim mit einer gehörigen Menge feiner Messingfeilspäne an, und goſs ihn zum Erstarren in ein geöltes Reagensglas aus. Den erstarrten Leim an sich haben wir schon oben S. 436 auf innere Polarisation untersucht und frei davon gefunden. Dagegen der mit Messingfeilspänen erfüllte Leimcylinder ahmte nunmehr vollkommen, und ohne alle Verwickelungen, die Erscheinungen der inneren Polarisation nach. Zwischen je zwei Punkten, die hinter einander auf der Bahn des Stromes gelegen waren, erfolgte eine secundär-elektromotorische Wirkung in umgekehrter Richtung der ursprünglichen, um so stärker je gröſser der Abstand der beiden Punkte u. s. f. Zu bemerken ist noch, daſs die unteren Theile des Leimcylinders, in welchen sich in Folge der Schwere mehr Messingspäne angehäuft hatten als in den oberen, wie zu erwarten war, diese an Wirksamkeit merklich übertrafen.

(IX) Erörterung einiger hierhergehörigen Angaben Munk af Rosenschöld's.

So gelingt es also mittelst der gewöhnlichen Ladungen, die innere Polarisation der feuchten porösen Körper getreu nachzuahmen. Nach unseren jetzigen Vorstellungen wäre aber zwischen einem Stück Kohle oder einem Leimcylinder voll Messingspänen im polarisirten Zustande, und einem Stück Holz, Knochen oder Sandstein in demselben Zustande, nur eine äuſserliche Ähnlichkeit. Nur die allgemeine Vertheilung der secundär-elektromotorischen Kräfte und die daraus folgende Wirkungsweise sind in beiden Fällen dieselben.

Was das elektromotorische Element in dem Fall der natürlichen inneren Polarisation sei, darüber sind wir noch völlig im Dunkeln. Indem wir uns aber jetzt dem Augenblick nähern, wo wir uns die Beantwortung dieser Frage zur Aufgabe machen, tritt zunächst die Nothwendigkeit ein, einiger fremden und wenig bekannten Angaben zu gedenken, die offenbar auf unseren Gegenstand Bezug haben.

Ich spreche von den Versuchen Munk af Rosenschold's, wonach gewisse Körper, meist sogenannte Halbleiter der Elektricität, nachdem sie dem Strom einer Elektrisirmaschine ausgesetzt gewesen sind, sich elektrisch zeigen, so daſs das Ende, welches den positiven Conductor der Maschine berührte, das Elektroskop positiv, das andere Ende es negativ ladet. Theilt man jene Körper in mehrere Stücke, so verhält

Digitized by Google

sich jedes Stück auf die nämliche Art.[1] In dieser Art wirken nach ROSENSCHÖLD gegossene Stangen von Schwefelantimon, krystallisirter rother Zinnober, lufttrockene Papierstreifen, Wasser und Alkohol in Thermometerröhren eingeschlossen. Einige andere Körper, Kohle, Mangansuperoxyd, Eisenoxyd, Zinkoxyd, gelbes Quecksilberoxyd zeigten dieselben Erscheinungen, wenn sie gepulvert in Glasröhren gestopft waren. Schwarzes Schwefelquecksilber und rothes Bleisuperoxyd dagegen versagten die Wirkung, ersteres, wie ROSENSCHÖLD meint, wegen zu guter, letzteres wegen zu schlechter Leitung. Es gelang ROSENSCHÖLD auch, krystallisirten Braunstein und braunes Bleisuperoxyd, letzteres als Pulver in einer vier Zoll langen Glasröhre, mittelst des Stromes einer 48gliederigen Zinkkupfersäule dergestalt zu laden, dafs die Nadel eines Multiplicators dadurch merklich in dem umgekehrten Sinne des ursprünglichen Stromes abgelenkt wurde.

„Ein kleiner Cylinder von völlig ausgebrannter Holzkohle, . . ., „der sehr stark leitete, wurde kaum merkbar geladen. Ein anderer Cy„linder, von nicht so gut ausgebrannter Kohle, ..., leitete dagegen sehr „schlecht, und hemmte den Strom der Säule in dem Grade, dafs die „Magnetnadel nicht afficirt wurde. Nachdem die Verbindung mit der „Säule einige Zeit gedauert hatte, prüfte ich", sagt ROSENSCHÖLD, „das „Kohlenstück durch den Condensator. Ich fand deutlich das Ende, „durch welches der Strom hindurchgegangen war, positiv, und das an„dere negativ, jedoch nur schwach". (A. a. O. S. 222*.)

Wie man sieht, war ROSENSCHÖLD ganz auf dem Wege, die im Vorigen von uns aufgedeckten Thatsachen zu finden. Einige seiner Versuche haben mit den unsrigen wohl nur eine äufserliche Ähnlichkeit. So die mit gegossenen Schwefelantimonstangen und mit krystallisirtem Zinnober, und ebenso die mit Alkohol- und Wasserfäden in gläsernen Haarröhrchen. Uns ist es durchaus mifsglückt, eine Spur von innerer Polarisation sogar an Krystallen wässerigen Ursprunges nachzuweisen, in deren Innerem viel eher an hygroskopische Feuchtigkeit gedacht werden könnte, als bei gegossenem Schwefelantimon und bei Zinnober; und bei chemisch gleichartigen Flüssigkeiten, mit Einschlufs von destillirtem Wasser und von Alkohol, haben wir gleichfalls vergeblich danach gesucht (S. oben S. 433. 434).

Dagegen ROSENSCHÖLD's Erfahrungen an pulverförmigen Halbleitern sind eher den unsrigen vergleichbar, und vollends der schon von VOLTA herrührende Versuch am Papierstreifen[2] erscheint fast nur als eine andere

[1] POGGENDORFF's Annalen u. s. w. 1838. Bd. XLIII. S. 207.*

[2] ROSENSCHÖLD führt diese Versuche aus NEUMANN's Handbuch der Physik, II. 2.

Digitized by Google

Gestalt unserer Versuche an den mit Wasser getränkten Fliefspapierbäuschen. Dafs Volta und Rosenschöld bei schlecht leitenden Körpern elektroskopische Wirkung beobachteten, während wir bei besser leitenden einen galvanischen Strom erhielten, kann keinen wesentlichen Unterschied zwischen beiden Versuchsreihen begründen, und es ist wohl keine Frage, dafs, wenn man über ein hinreichend empfindliches Elektroskop geböte, man so gut wie an der Schwefelantimonstange auch an allen den zahllosen Körpern, die wir nun als mit innerer Polarisation begabt erkannten, elektroskopische Wirkungen würde nachweisen können.

Über die Ursache der von ihm wahrgenommenen Erscheinungen hat Rosenschöld eine Theorie aufgestellt, welche unsere Aufmerksamkeit verdient, sofern sie auch unsere Versuche umfasst, und also, wenn sie richtig wäre, von der gröfsten Wichtigkeit für uns sein würde.

Rosenschöld denkt sich, dafs, „wenn ein elektrischer Strom durch „einen Leiter geht, in dem Leiter das Bestreben erweckt wird, die „Differenzen der freien elektrischen Kräfte, die durch den Strom hervor„gerufen wurden, zu behalten, oder mit anderen Worten dafs, wenn die „Elektricität in einem Leiter aus irgend einer Ursache im Zustande der „Strömung ist, die elektrischen Differenzen, die der Strom hervorbringt, „zum Theil in Spannungen[1] übergehen". (A. a. O. S. 224*.) Dies soll nach Rosenschöld mit allen, auch den metallischen Kettentheilen, in gleicher Art geschehen; merkliche 'Spannungen' aber bleiben dergestalt nur an schlechten Leitern zurück, weil nur an solchen, nach den bekannten Versuchen Erman's und Anderer[2], die 'Spannungen' des Kreises so zu sagen sich anhäufen.

Auf alle Fälle ist dies im Widerspruch mit den Thatsachen. Ein

Neue Auflage, Bd. II. S. 544 an, und fügt hinzu: „Es ist mir unbekannt, woher der „Verfasser das Angeführte, auf welches er die Erklärung der Ladungssäule von „Ritter gründet, genommen hat". Yelin in Gilbert's Annalen der Physik, 1823. Bd. LXXIII. S. 376* schreibt Volta den Versuch zu, doch habe ich die Originalstelle nicht aufzufinden vermocht.

[1] Unter Spannungen versteht Rosenschöld, was wir jetzt Potential-Unterschiede nennen. (Vergl. Kirchhoff in Poggendorff's Annalen u. s. w. 1849. Bd. LXXVIII. S. 506.*) Ich werde jedoch Rosenschöld's Redeweise beibehalten, indem ich nur dem in seinem Sinne gebrauchten Worte 'Spannungen' Anführungszeichen hinzufüge.

[2] P. Erman in Gilbert's Annalen der Physik. 1801. Bd. VIII. S. 197;* — 1802. Bd. X. S. 1;* — Bd. IX. S. 93;* — 1807. Bd. XXVI. S. 126. — Volta in: Configliachi, L'Identità del fluido elettrico col così detto Galvanico vittoriosamente dimostrata ec. Pavia 1814. 4°. S. 70. §56.* — G. S. Ohm in Poggendorff's Annalen u. s. w. 1826. Bd. VII. S. 54;* — Die galvanische Kette mathematisch bearbeitet. Berlin 1827. S. 47. 156.* — Kohlrausch in Poggendorff's Annalen u. s. w. 1849. Bd. LXXVIII. S. 1;* — 1851. Bd. LXXXII. S. 411.*

Digitized by Google

noch so langer und dünner mit gesättigter Kochsalzlösung oder verdünnter Schwefelsäure getränkter Zwirnsfaden giebt keine Spur von innerer Polarisation, obschon sein Widerstand gewifs keinen kleineren Theil des Gesammtwiderstandes ausmacht, als der eines kurzen und dicken mit Wasser getränkten Fliefspapierbausches, welcher sehr stark innerlich polarisirbar ist.

Aber auch abgesehen hiervon ist ROSENSCHÖLD's Vorstellung unhaltbar. Sie beruht auf unrichtiger Auffassung des Verhältnisses der Strömung zu den 'Spannungen'. ROSENSCHÖLD geht davon aus, dafs letztere durch erstere hervorgerufen werden, ohne zu bedenken, dafs ebenso sehr die Strömung die Folge der 'Spannungen' ist.

Bliebe nach Entfernung der ursprünglichen elektromotorischen Kräfte aus dem Kreise der elektrische Zustand seiner einzelnen Theile wenn auch in vermindertem Mafse bestehen, so würde nothwendig auch der Strom noch in derselben Richtung fortdauern, wie vorher. ROSENSCHÖLD hat sicher Recht, wenn er sagt: „Es wird nur durch eine, durch den „elektrischen Strom erregte 'Spannung' zwischen den kleinsten Theilen „möglich, die Erscheinungen zu erklären, welche ein geladener Leiter „darbietet". Aber er geht fehl, wenn er fortfährt: „Diese 'Spannungen' „sind ... den Zeichen nach derselben Art, wie die Differenzen, welche „durch den Strom" — während seiner Dauer — „erzeugt waren. Der Leiter „äufsert nur ein Bestreben, in demselben Zustande zu verweilen, der „während des Stromes stattfand". (A. a. O. S. 223.*) ROSENSCHÖLD's Theorie führt ihn denn auch folgerichtig zu ungereimten Ergebnissen. Er überlegt, was geschehe, wenn ein innerlich polarisirter Leiter, ohne Einschaltung eines aufserwesentlichen Widerstandes, in sich selber zur Kette geschlossen würde. In diesem Falle würde nach ihm „die elek„trische Differenz zweier beliebigen Querschnitte immer Null sein... „Hier sind daher gar keine elektrischen Differenzen, und, wenn der „Leiter in einem Punkte mit der Erde in Verbindung steht, gar keine „freie elektrische Kräfte vorhanden, und doch kreist die Elektricität". (A. a. O. S. 225. Anm.*)

Das wäre in der That das Perpetuum mobile. Aber, wie kaum gesagt zu werden braucht, so verhalten sich die Dinge nicht. Um sie sich richtig vorzustellen, kann der Weg sehr wohl dienen, den ROSENSCHÖLD einschlug, indem er an die OHM'schen Gefälle der elektroskopischen Kraft anknüpfte, nur hat er selber auf diesem Wege sich verirrt.

In Fig. 159 Taf. VI stellt die Abscissenaxe $M'M_1$ einen zur Geraden entwickelten galvanischen Kreis vor, der aus folgenden Theilen besteht. Der Abschnitt $P'P_1$ ist ein innerlich polarisirbarer, die Abschnitte

Digitized by Google

$M'P'$, $P_,M_,$ sind die beiden Hälften eines gewöhnlichen metallischen Leiters. In der Mitte M' oder $M_,$ des letzteren befindet sich eine elektromotorische Kraft oder ein Sprung des Potentials im Betrage von $M'\mu' + M_,\mu_, = 2M'\mu' = 2M_,\mu_,$. Die elektromotorischen Kräfte, welche etwa bei P' und $P_,$ ihren Sitz haben, lassen wir aufser Acht. Als gleich und entgegengesetzt heben sie sich auf, und ihre Berücksichtigung würde zur Erläuterung dessen, worauf es hier ankommt, nicht beitragen. Dagegen gehört zur Bestimmung unserer Figur noch, dafs die Mitte 0 der Strecke $P'P_,$ zur Erde abgeleitet, das Potential der Elektricität daher hier = Null sei.

Da der Übersichtlichkeit halber die Strecken $M'P'$, $P_,M_,$ beziehlich den Strecken $P'0$, $0P_,$ gleich gemacht wurden, sind für die ersteren und letzteren Strecken die Tangenten der Winkel α und β den Producten aus dem Leitvermögen in den Querschnitt der zugehörigen Strecken umgekehrt proportional zu denken. Dann stellt die gebrochene Linie $\mu'\pi'0\pi_,\mu_,$ die Vertheilung des elektrischen Potentials in unserem Kreise im Augenblick der Schliefsung vor. Die Aufgabe aber wäre nunmehr die Vertheilung anzugeben, welche in Folge der inneren Polarisation der Strecke entsteht, und die Entfernung des innerlich polarisirten Leiters aus dem primären Kreise überdauernd in einem Multiplicatorkreise einen secundären Strom zu erzeugen vermag. Der Einfachheit halber wollen wir uns denken, dafs der Multiplicatorkreis gleichen Widerstand mit dem primären Kreise hat, mit anderen Worten, die Abschnitte $M'P'$, $P_,M_,$ des metallischen Leiters sollen jetzt den Multiplicatorkreis vorstellen. Wir thun also in der Idee nichts, als dafs wir aus diesem Leiter den bisher bei M' oder $M_,$ darin vorhandenen Potentialunterschied wegnehmen. Doch ist, um die Aufgabe behandeln zu können, noch eine Annahme nöthig.

Die secundär-elektromotorischen Kräfte sind sicher nicht auf Querebenen des innerlich polarisirten Leiters stetig verbreitet, sondern haben ihren Sitz an zerstreuten Punkten dieser Ebenen, welche wieder nicht in Linien liegen, die der Axe des prismatisch gedachten Leiters parallel sind. Zwischen den secundär-elektromotorisch wirksamen Punkten liegt also leitende Substanz, welche nur als Nebenschliefsung wirkt. Auch auf diese Verwickelung wollen wir hier noch keine Rücksicht nehmen, sondern die Sache so ansehen, als wechselten in dem innerlich polarisirten Leiter secundär-elektromotorisch wirksame Querebenen mit Querscheiben ab, welche nur leitend sich verhalten.

Lässt man dies gelten, so ist klar, dafs die gebrochene in dem innerlich polarisirbaren Abschnitt sägeförmige Linie $M'p'0p_,M_,$ die Vertheilung des Potentials nach Entfernung der ursprünglichen elektromo-

Digitized by Google

rischen Kraft darstellen wird. Jeder Zahn der Säge — natürlich sind die Zähne viel zu wenig zahlreich und viel zu grofs abgebildet — besteht aus einem senkrechten und einem schrägen Theil. Der senkrechte Theil ist der Sprung des Potentials, welcher der secundär-elektromotorischen Kraft in einer Querebene des innerlich polarisirten Leiters entspricht. Der schräge Theil stellt das Gefälle des Potentials in der leitenden Querscheibe vor. Vermöge des Sinnes der Abdachung hat der secundäre Strom die entgegengesetzte Richtung vom primären. Im Punkte M' oder M_1 ist jetzt das Potential Null, und die das Gefälle darstellende Gerade $p'M'M_1p_1$ schneidet hier die Abscissenaxe, daher auch in den Strecken $M'P'$, P_1M_1, wie es sein mufs, jetzt ein dem primären entgegengesetzter Strom herrscht. Die Tangenten der Winkel γ und δ verhalten sich zu einander, wie die Tangenten der Winkel α und β, wobei von secundärem Widerstande (S. oben S. 458) abgesehen wird.

Denkt man sich den innerlich polarisirten Leiter durch Berührung von P' und P_1 in sich selber zum Kreise geschlossen, so wird die Vertheilung des Potentials die in Fig. 159 A zwischen P' und P_1 sichtbare, welche überhaupt den elektrischen Zustand einer mehrgliederigen Säule darstellt, die ohne Einschaltung eines Zwischenleiters oder aufserwesentlichen Widerstandes in sich geschlossen wird, wobei trotz der säulenartigen Anordnung keine Verstärkung des Stromes erfolgt. Wird aber der aus dem Kreise entfernte innerlich polarisirte Leiter nicht zum Kreise geschlossen, so nimmt die Vertheilung die in derselben Figur zwischen p' und p_1 angegebene Beschaffenheit an, woraus man den Grund erkennt, weshalb in ROSENSCHÖLD'S Versuchen die innerlich polarisirten Leiter Zeichen positiver Elektricität an dem Ende gaben, das mit dem positiven Conductor der Elektrisirmaschine oder dem positiven Pol der Säule verbunden gewesen war, Zeichen negativer Elektricität am entgegengesetzten.

Um die Vertheilung des Potentials im Kreise, der die primärelektromotorische Kraft und den innerlich polarisirten Leiter enthält, zu finden, braucht man nur nach dem Principe der Superposition[1] die Ordinaten der Linie $\mu'\pi'0\pi_1\mu_1$ und die der Linie $M'p'0p_1M_1$ algebraïsch zu summiren. Dies ist in Fig. 159 in der Linie $\mu'\mathfrak{p}'0\mathfrak{p}_1\mu_1$ geschehen, und man sieht die Verminderung der Stromstärke durch die innere Polarisation sich in der verminderten Steilheit der Gefälle deutlich ausprägen.

Die hier angegebene Construction läfst sich leicht auch auf den Fall

[1] Vgl. oben Bd. I. S. 647; — HELMHOLTZ in POGGENDORFF'S Annalen u. s. w. 1853. Bd. LXXXIX. S. 212 ff.*

Digitized by Google

einer inneren positiven Polarisation ausdehnen, als welche der elektrotonische Zustand der Nerven, und, wie wir sehen werden, jene secundär-elektromotorischen Erscheinungen der Muskeln und Nerven sich darstellen, in deren Verfolgung wir eigentlich hier begriffen sind (S. oben S. 381). Da wir später dieser Construction bedürfen werden, wird es am besten sein, sie sogleich hier vorzunehmen. Fig. 160 und 160A Fig. VI, welche in allen Stücken, nur nicht im Sinne der Polarisation, eine Wiederholung von Fig. 159 und 159A darstellen, lassen erkennen, worin sich bei positiver innerer Polarisation die Ohm'schen Gefälle von denen bei negativer innerer Polarisation unterscheiden. Bei geschlossenem Kreise sind die Sägezähne anders gerichtet, bei offenem steigen die Treppenstufen anders an. Im Gegensatz zu einem negativ innerlich polarisirten Leiter müfste ein aus dem Kreise entfernter positiv innerlich polarisirter Leiter an dem Ende, wo der Strom eintrat, negative, an dem, wo er austrat, positive Zeichen am Elektroskop geben. In einem zwischen seinen Enden angebrachten Leiter ist das Gefälle des Potentials, und demgemäfs die Richtung des Stromes die umgekehrte wie am negativ innerlich polarisirten Leiter, nämlich dieselbe wie unter dem Einfluſs der ursprünglichen elektromotorischen Kraft. Daher durch algebraïsche Summation der Ordinaten der secundären und der primären Kräfte diesmal die Steilheit des Gefälles der letzteren in der gebrochenen Linie $\mu' \mathfrak{p}' 0 \mathfrak{p}_1 \mu_1$ gröfser ist, als ohne den innerlich polarisirten Leiter.

Kurz gesagt, am negativ innerlich polarisirbaren Leiter bleiben die elektroskopischen Zeichen scheinbar die nämlichen wie während der Dauer des primären Stromes, aber er wirkt elektromotorisch im entgegengesetzten Sinne. Am positiv innerlich polarisirbaren Leiter kehren jene Zeichen sich um, aber der secundäre Strom hat die Richtung des primären. Die Fig. 161 Taf. VI macht dies anschaulich. Man erkennt leicht den innerlich polarisirbaren Körper $P' P_1$ zwischen den davon entfernten Enden des eben dadurch geöffneten primären Kreises. Die ausgezogenen Pfeile zeigen die Richtung des primären Stromes, die gestrichelten die des secundären Stromes an. Der obere Abschnitt der Figur, A, entspricht also negativer, der untere, B, positiver innerer Polarisation, und demgemäfs sieht man die Zeichen verschieden vertheilt.

Dies Verhalten übersah wohl Fechner, als er zur Erklärung der Versuche Rosenschöld's annahm: in den ladungsfähigen Halbleitern ordneten sich die elektropositiven und -negativen Bestandtheile an, wie nach Grotthuss in den Elektrolyten (S. oben Bd. I. S. 236; — Bd. II. Abth. I. S. 323), und diese Anordnung überdaure den ursprüng-

Digitized by Google

lichen Strom.[1] Denn dies wäre positive innere Polarisation, und der Erfolg würde elektroskopisch wie galvanisch gerade der umgekehrte von dem von ROSENSCHÖLD beobachteten sein. Überdies wäre nicht zu verstehen, warum (was aber FECHNER noch nicht wufste) nur mit schlechtleitenden Elektrolyten getränkt die porösen Körper innere Polarisation annehmen.

P. RIESS vergleicht die ladungsfähige Schwefelantimonstange einer FRANKLIN'schen Flaschensäule, und nimmt also an, dafs darin gut leitende mit isolirenden Schichten abwechseln. Diese Erklärung pafst auch auf die in Glasröhren gestopften pulverförmigen Metalloxyde, und allenfalls auf VOLTA's lufttrockenen Papierstreifen, nicht jedoch auf den Fall des in Haarröhrchen eingeschlossenen Wassers oder Alkohols. Keinenfalls könnten wir sie auf unsere Erfahrungen ausdehnen, die an durch und durch mit leitenden Flüfsigkeiten getränkten porösen Körpern gewonnen wurden, und wir haben also noch immer nach einer Theorie der inneren Polarisation zu suchen.

(x) Die innere Polarisation beruht nicht auf Erzeugung thermoelektrischer Unterschiede durch den Strom.

Wir müssen uns also nach einem anderen Grunde für die Erscheinungen der inneren Polarisation umsehen. Die erste Vermuthung, die einem aufstofsen könnte, ist hier, wie bei der äufseren Polarisation der feuchten Leiter (S. oben S. 417), mit Hinblick auf die oben S. 201. 210 gemachten Erfahrungen über Thermoströme feuchter Leiter, dafs die innere Polarisation von Temperaturunterschieden herrühre, die der Strom erzeugt, und die sich wegen der schlechten Wärmeleitung der Flüssigkeiten und der in den porösen Körpern gehemmten Beweglichkeit derselben nur mangelhaft ausgleichen können. Diese Hypothese scheint hier sogar noch besser zu passen, als bei der äufseren Polarisation, da die thermoëlektrischen Wirkungen feuchter Leiter, die wir wahrgenommen haben, ja eben an porösen, mit Elektrolyten getränkten Körpern beobachtet wurden.

Auch ist es mir geglückt das Feld jener Beobachtungen noch dadurch zu erweitern, dafs ich thermoëlektrische Ströme an balkenförmigen Fliefspapierbäuschen nachwies, die mit Brunnenwasser getränkt waren,

[1] POGGENDORFF's Annalen u. s. w. 1839. Bd. XLVIII. S. 263. 264.*

[2] Die Lehre von der Reibungselektricität. Berlin 1853. Bd. I. S. 362. §. 380.*

Digitized by Google

und deren beiden Hälften ich ganz einfach dadurch verschiedene Temperatur ertheilte, dafs ich eine derselben eine Zeit lang in heifses Wasser getaucht hielt. Ich hatte die H-förmige Anordnung hergestellt, und es war deren querer Bausch, der, nachdem vollkommenes Gleichgewicht im Kreise eingetreten war, auf die angegebene Weise behandelt wurde. Beim Wiederauflegen des Bausches mit ungleich warmen Enden erfolgten am Multiplicator für den Nervenstrom Ausschläge, die augenscheinlich dem Unterschied der Temperaturen ihre Entstehung verdankten, und vielleicht denen zu vergleichen sind, die wir, nach Nobili's Vorgang, durch die Berührung heifsen und kalten Thons erzeugten. Sie hatten auch dieselbe Richtung, nämlich von dem heifsen Ende des Bausches nach dem kalten hin. Beim Eintauchen des einen Endes in siedendes Wasser betrugen sie 20—50°. Bei mehrmaliger Wiederholung des Versuches und bei Anwendung niedrigerer Temperaturen, wie auch bei Tränkung des Bausches mit Kochsalzlösung, gaben sich Unregelmäfsigkeiten zu erkennen, die ich noch nicht weiter verfolgt habe. Wie dem auch sei, wir wollen zunächst einmal nachsehen, ob in unseren Versuchen über innere Polarisation überhaupt Temperaturunterschiede erzeugt werden, an die man als Ursache der secundär-elektromotorischen Wirkungen denken könnte.

Wir haben nun zwar schon gefunden, dafs an der Grenze zweier ungleichartigen feuchten Leiter, wie Kochsalzlösung und verdünnte Schwefelsäure, in Bezug auf Wärmeentwickelung durch den Strom nichts Auffallendes vor sich geht, wenigstens nicht bei Anwendung von dreifsig Gliedern der Grove'schen Säule, und wir haben daraus geschlossen, dafs innerhalb der Genauigkeitsgrenzen unserer Versuche für die Elektrolyte nichts der nach Peltier für die Metalle geltenden Thatsache Ähnliches stattfinde. Allein es ist zu bemerken, dafs in diesen Versuchen, die auf die äufsere Polarisation Bezug hatten und ihre Unabhängigkeit von den thermischen Wirkungen des Stromes erwiesen, der Widerstand der beiden feuchten Leiter ziemlich derselbe war; und es könnte sein, dafs die Grenze eines sehr schlecht und eines verhältnifsmäfsig gutleitenden Elektrolyten unter dem Einflufs des Stromes der Sitz einer nach seiner Richtung verschiedenen Wärmeentwickelung würde, wie bekanntlich bei Unterbrechung eines metallischen Kreises durch eine Luftschicht der positive Pol vorzugsweise erwärmt wird. Dies würde zugleich erklären, weshalb die innere Polarisation sich nur bei Tränkung der porösen Körper mit schlecht leitenden Elektrolyten zeigt.

Die erste Frage, die sich darbietet, ist die, ob bei Unterbrechung eines metallischen Kreises mit einem Elektrolyten an der positiven Elektrode eine höhere Temperatur entsteht, als an der negativen. Es fehlt

Digitized by Google

nicht an Angaben, dafs dem so sei,[1] doch habe ich mich vergeblich bemüht, sie zu bestätigen. Ich verband die Enden der dreifsiggliederigen Grove'schen Säule mit 15^{mm} breiten Platinstreifen, welche in zwei Porzellantröge tauchten, wie sie mir zu meinen kleinen Grove dienen (S. oben Bd. I. S. 446). Über die Tröge brückte ich eine der oben S. 404 beschriebenen weiten heberförmigen Röhren, deren Enden mit Blase verschlossen waren. Gefäfse und Röhre füllte ich nacheinander mit verdünnter Schwefelsäure von 1.035 Dichte, mit Brunnenwasser und mit destillirtem Wasser. In die Gefäfse tauchten, dicht an den Platinelektroden, die Kugeln der beiden oben S. 417 beschriebenen Thermometer. In der verdünnten Säure fand reichliche Gasentwickelung an den Elektroden statt, im Brunnenwasser und destillirtem Wasser war sie unmerklich. Die Ablenkung am Vertical-Galvanoskop war unmerklich mit dem destillirten Wasser, mit dem Brunnenwasser betrug sie 7.5°, mit der verdünnten Säure 80°. Die Temperaturen wurden, nachdem die beiden Thermometer denselben beständigen Stand angenommen hatten, alle fünf Minuten durch ein Fernrohr abgelesen, und zugleich wurde die Richtung des Stromes zwischen den Gefäfsen umgekehrt. Natürlich stieg in allen drei Fällen die Temperatur, am schnellsten mit der Schwefelsäure, am langsamsten mit dem destillirten Wasser. Dabei eilte aus unbekannten Gründen, bald das eine, bald das andere Thermometer um eine kleine Gröfse vor. Es gelang mir aber nicht, in der Reihe der Unterschiede zwischen ihren Ständen ein Gesetz zu entdecken.

Ebensowenig gelang dies denn auch, als ich die oben S. 417 beschriebene Anordnung mit dem einzigen Unterschiede wieder herstellte, dafs ich statt der verdünnten Schwefelsäure mit Lakmus gefärbtes destillirtes Wasser nahm, so dafs sich die Thermometerkugel an der Grenze zweier verhältnifsmäfsig gut und schlecht leitenden Elektrolyte befand. Die Unterschiede der alle fünf Minuten abgelesenen Stände änderten sich sichtlich ohne den mindesten Bezug auf die gleichfalls alle fünf Minuten geänderte Strömungsrichtung.

Endlich näherte ich mich wieder mehr dem Gegenstand der Untersuchung, indem ich zwischen die beiden mit Kupfersulphatlösung getränkten Zuleitungsbäusche der Säule einen mit Brunnenwasser getränkten Bausch brachte und die Thermometerkugeln zwischen seine Enden und jene Bäusche klemmte. Bei derselben Art der Beobachtung gab sich keine Spur eines Gesetzes zu erkennen, wie es nöthig gewesen wäre,

[1] Man findet sie zusammengestellt von Beetz im Repertorium der Physik u. s. w. 1849. Bd. VIII. S. 324 ff.

Digitized by Google

um darauf eine Erklärung der Erscheinungen der inneren Polarisation zu gründen.

Zuletzt nahm ich einen Zweig von Sambucus nigra, höhlte in demselben zwei Löcher aus, in welche die Thermometerkugeln paſsten, und brachte ihn zwischen die Zuleitungsbäusche der Säule. Die beiden Thermometer stiegen ganz gleichmäſsig, unbekümmert um die Richtung des Stromes, obschon äuſserst heftige innere Polarisation stattfand, wodurch die Nadel des Muskelmultiplicators an die Hemmung geschleudert wurde.

Es ist demnach klar, daſs gar kein Temperaturunterschied stattfindet, auf den man sich zur Erklärung der inneren Polarisation berufen könnte. Es läſst sich aber auch leicht zeigen, daſs, selbst wenn ein solcher Temperaturunterschied der beiden Endpunkte des porösen feuchten Leiters beobachtet worden wäre, damit zur Erklärung der inneren Polarisation nichts anzufangen sein würde.

Sitz der ungleichmäſsigen Temperatur könnten doch auf alle Fälle nur die Grenzen des innerlich polarisirten Körpers und der Zuleitungsbäusche der Säule sein. Wie aber sollten wohl bei der äuſserst schlechten Wärmeleitung aller der auf innere Polarisirbarkeit geprüften Körper diese Temperaturunterschiede sich schnell genug verbreiten, um die Gegenwart der secundär-elektromotorischen Kraft in jedem Punkte derselben bereits nach kaum einer Secunde begreiflich zu machen. Die Verbreitung könnte doch unmöglich so stattfinden, daſs die Curve der Temperaturen bezogen auf die Längenaxe des Leiters als Abscisse eine Gerade wäre, und doch findet man in Wirklichkeit jeden gleich langen Theil des Leiters mit gleicher Kraft wirksam. Sodann sieht man nicht ein, weshalb bei einem in so allgemeinen Bedingungen wurzelnden Ursprunge die Erscheinung nicht auch sollte bei Asbest, bei dem Magnesia- und dem Schwefelblumenteig, ja auch bei Wasser allein ohne Gegenwart eines porösen Körpers, stattgefunden haben. Wenn aber Ausnahmen sein sollten, hätten mindestens Kreide und Gyps keine innere Polarisirbarkeit zeigen dürfen, bei denen Nobili vergebens nach einer thermoëlektrischen Wirkung gleich der am Thon gesucht hat (S. oben S. 201), und ebensowenig Brodkrume, die uns dergleichen versagte (S. oben S. 202). Hinsichtlich der Richtung der Wirkung ist zu bemerken, daſs wenigstens bei Thon und Fliefspapier der Sinn des Polarisationsstromes der umgekehrte ist von dem, der die Folge einer stärkeren Erwärmung des Endes sein würde, zu welchem der Strom eintritt. Endlich sind auch die thermoëlektrischen Ströme des Thones und des Fliefspapieres zu schwach, um zur Erklärung der secundär-elektromotorischen Wirkungen dienen zu können, da beispielsweise am Nervenmultiplicator mit Fliefspapierbäuschen erst bei

Digitized by Google

Anwendung von Siedhitze Ausschläge von 20—50° erhalten wurden, während es etwas ganz Gewöhnliches ist, durch die innere Polarisation eines Wasserbausches die Nadel an die Hemmung fliegen zu sehen.

(xi) Die innere Polarisation beruht nicht auf der Gegenwart zweier Flüssigkeiten im Inneren der porösen Körper, an deren Grenzen äufsere Polarisation stattfindet.

Wir haben oben S. 459 ff. die Erscheinungen der inneren Polarisation nachgeahmt mit Hülfe der Polarisation metallischer oder metallisch leitender Elektroden. Es giebt aber noch einen anderen Weg, dasselbe zu erreichen, nämlich mit Hülfe der soeben erst von uns entdeckten Polarisation an der Grenze ungleichartiger Elektrolyte. In der That, man denke sich die keilförmigen Bäusche an irgend zwei der Länge nach auseinander gelegene Punkte des Umfanges der oben S. 414 beschriebenen secundären Säule aus Kochsalzlösung und verdünnter Schwefelsäure angelegt. Es ist klar, dafs die Säule, geladen, überall einen Strom in entgegengesetzter Richtung des ursprünglichen durch den Multiplicatorkreis schicken wird, dessen Stärke mit der Entfernung der ableitenden Bäusche von einander wachsen wird. Mit einem Wort, die Säule wird sich verhalten, als wäre sie innerlich polarisirt. Man könnte also den Gedanken fassen, dafs in den mit innerer Polarisirbarkeit begabten Körpern eine Abwechselung zweier Flüssigkeiten stattfinde, an deren Grenzen der Strom negative äufsere Polarisation erzeugte.

Indessen entbehrt diese Muthmafsung offenbar jeder thatsächlichen Grundlage. Bei den lebenden Pflanzentheilen, den frischen thierischen Geweben, könnte man sich allenfalls unter den beiden ungleichartigen Flüssigkeiten noch etwas denken, nämlich die Flüssigkeiten innerhalb der verschiedenen Zellen, die aufserhalb derselben, und die, mit welcher die Zellenwände selber getränkt sind. Die Ungleichartigkeit dieser verschiedenen Flüssigkeiten kann zwar nicht sehr grofs sein, mithin auch nicht die elektromotorische Kraft an ihrer Grenze. Allein die grofse Anzahl der dichtgedrängt aufeinanderfolgenden Grenzen, auch in einer kurzen Strecke des durchströmten Leiters, könnte die geringe Gröfse der Kräfte aufwiegen. Aber bei der gröfsten Anzahl der porösen Körper, die wir mit innerer Polarisirbarkeit begabt gefunden haben, ist es schlechterdings unmöglich, auch mittelst der kühnsten Hypothese die beiden ungleichartigen Flüssigkeiten herbeizuschaffen, an deren Grenze, durch äufsere Polarisation, die secundär-elektromotorische Kraft erzeugt werden soll; vollends zu erklären wie es komme, dafs die beiden ungleichartigen

Digitized by Google

Flüssigkeiten, wenn ihr Vorhandensein einen Augenblick zugegeben wird, nicht chemisch und physikalisch so aufeinander einwirken, dafs binnen Kurzem von keinen Grenzen mehr zwischen ihnen die Rede sein kann. Jene Hypothesen würden noch abenteuerlicher werden durch die Nothwendigkeit, darauf Rücksicht zu nehmen, dafs nur mit schlecht leitenden Elektrolyten getränkt die porösen Körper innere Polarisation zeigen. Endlich würde bei dieser Annahme dunkel bleiben, warum nicht ein einziger der zahlreichen untersuchten porösen Körper positive innere Polarisation dargeboten hat, die offenbar ebenso häufig wie negative vorkommen müfste, bedingt durch eine Abwechselung von Leitern, die, wie Kalihydratlösung oder Wasser und Kochsalzlösung, positive äufsere Polarisation besitzen.

(xii) Übersicht des Thatbestandes der inneren Polarisation.

Ehe wir versuchen, uns nach Widerlegung dieser Hypothesen endlich eine stichhaltige Meinung über das Wesen der inneren Polarisation zu bilden, wollen wir erst noch einen Blick auf den Thatbestand selber werfen. Er läfst sich folgendermafsen zusammenfassen:

Eine grofse Anzahl von porösen Körpern, welche trocken unter die Nichtleiter oder mit Rücksicht auf die Reibungselektricität unter die Halbleiter gerechnet werden, entwickeln, mit schlecht leitenden Elektrolyten getränkt und dem Strom ausgesetzt, in dichtgedrängten Punkten ihres Inneren eine dem Strom entgegengesetzte secundär-elektromotorische Kraft, die mit Dichte und Dauer des Stromes bis zu einer für die verschiedenen Körper verschiedenen Grenze wächst.

Diese Kraft sinkt schnell nach Aufhören des ursprünglichen Stromes; ob schneller, wenn der innerlich polarisirte poröse Körper zum Kreise geschlossen wird, ist noch nicht ausgemacht. Mit wachsender Temperatur nimmt die innere Polarisirbarkeit ab.

Elektrolytische Flüssigkeiten an und für sich sind der inneren Polarisation unfähig. Dieser Satz scheint die Versuche mit dem Thon- und Seifenwasser nicht in Betracht zu ziehen. Allein es ist klar, dafs hier die innere Polarisation nicht in dem tropfbar flüssigen Wasser stattfand, sondern an den darin schwebenden festen Thon- und Seifentheilchen, gerade wie in dem oben S. 438 beschriebenen Versuch an den Sägespänen. Die wahre Bedeutung dieser Versuche besteht vielmehr darin, dafs sie einen unmittelbaren Beweis für die Kleinheit der festen

Digitized by Google

Theile liefern, in denen die secundär-elektromotorische Kraft ihren Sitz hat.

Es ist gesagt worden, dafs nur mit schlecht leitenden elektrolytischen Flüssigkeiten getränkt die innerlich polarisirbaren porösen festen Körper diese Eigenschaft entfalten. Dies folgt aus der Gesammtheit der obigen Erfahrungen. Fliefspapier mit Brunnen- und destillirtem Wasser, mit Hühnereiweifs getränkt, zeigte starke, mit Ammoniakflüssigkeit schwächere, mit Kupfersulphatlösung nur spurweise innere Polarisation, mit den übrigen oben S. 408 aufgezählten Flüssigkeiten auch bei längster Schliefsungsdauer keine Spur davon. Thon und Bimsstein mit Wasser getränkt zeigten innere Polarisation, Thon mit Kochsalzlösung und verdünnter Schwefelsäure keine, Bimsstein mit letzterer Flüssigkeit nur eine Spur. Mit Kochsalzlösung wurden noch viele andere poröse Körper, die mit Wasser dergleichen gaben, vergeblich auf innere Polarisation geprüft. Diejenigen porösen Körper endlich, die schon von Natur feucht sich innerlich polarisirbar zeigten, wie die pflanzlichen und thierischen Theile, sind sämmtlich mit solchen Flüssigkeiten getränkt, deren Leitungsvermögen das des Wassers nur wenig übertrifft.

In den älteren Angaben über die Leitungsfähigkeit der Flüssigkeiten, die man bei Fechner zusammengestellt findet, wird Ammoniakflüssigkeit freilich unter den besser leitenden Flüssigkeiten aufgeführt.[1] Allein man weifs, ein wie geringer Werth diesen älteren Bestimmungen zukommt, und ich habe mich durch den Versuch unmittelbar überzeugt, dafs ein mit Ammoniakflüssigkeit von 0.9613 Dichte bei 22.5° C. getränkter Bausch sehr viel schlechter leitet als ein mit gesättigter Kochsalzlösung getränkter Bausch von gleichen Mafsen. Was die Kupfersulphatlösung betrifft, der jene Messungen gleichfalls ein sehr hohes Leitungsvermögen zuschreiben, so wissen wir jetzt durch Edmond Becquerel,[2] dafs sie, im Zustand der Sättigung, wie wir sie angewandt haben, etwa sechsmal schlechter leitet als gleichfalls gesättigte Kochsalzlösung.

Sowohl unter den Flüssigkeiten, welche innere Polarisation zulassen, als unter denen, welche sie ausschliefsen, befinden sich neutrale Körper, Alkalien und Säuren. In der That zeigte Bimsstein mit verdünnter Schwefelsäure getränkt ein geringes Mafs innerer Polarisirbarkeit, und dasselbe war der Fall mit Fliefspapier, welches ich mit concentrirter Essigsäure tränkte. Ein verhältnifsmäfsig geringes Leitvermögen ist

[1] Lehrbuch des Galvanismus und der Elektrochemie u. s. w. Leipzig 1829. S. 234 ff. 529.*

[2] Annales de Chimie et de Physique. 1846. 3. Série t. XVII. p. 280 et suiv.;* — Poggendorff's Annalen u. s. w. 1847. Bd. LXX. S. 253. 254.*

Digitized by Google

demnach wohl die einzige wesentliche Eigenschaft, welche sich den Flüssigkeiten, mit denen innere Polarisation hervortritt, zuschreiben läfst im Gegensatz zu denen, mit welchen sie vermifst wird; und schon oben bei Gelegenheit der Widerlegung von Rosenschöld's Theorie wurde gezeigt, dafs es wirklich auf das eigenthümliche Leitvermögen der Flüssigkeiten ankomme, und dafs dasselbe in diesen Versuchen nicht vertreten werden könne durch Verkleinerung des Querschnitts und Verlängerung des porösen mit einem Elektrolyten getränkten Körpers.

Auffallend ist es unter diesen Umständen, dafs, wie hier nachträglich bemerkt werden mag, es nicht gelingt, durch Zusatz von Alkohol zum Wasser, womit ein poröser Körper getränkt ist, die innere Polarisation zu verstärken; also z. B. indem man Fliefspapier mit destillirtem Wasser tränkt, dem ein gleiches Volumen Brennspiritus zugesetzt ist.

Eine andere Unregelmäfsigkeit ist die innere Polarisation der mit gesättigter Kalihydratlösung getränkten Kreide. Indessen kann wegen dieses einen Falles die Richtigkeit des Grundsatzes, dafs das schlechte Leitvermögen der Elektrolyte Bedingung für die innere Polarisation sei, unmöglich aufgegeben werden.

Was die Natur der porösen Körper betrifft, die mit innerer Polarisirbarkeit begabt sind, so läfst sich darüber, soviel wir bis jetzt sehen, kaum etwas Bestimmtes aussagen. Es läfst sich keine Eigenschaft angeben, die denjenigen porösen Körpern, welche innere Polarisirbarkeit besitzen, gemeinsam zukäme im Gegensatz zu solchen, denen innere Polarisirbarkeit abgeht.

Eine chemische Eigenschaft kann es nicht sein, denn abgesehen davon, dafs Körper von der verschiedensten chemischen Natur, wie Seife, Hydrophan, Gyps, geronnener Faserstoff, Papier innerlich polarisirbar sind, ist auch bei den meisten der untersuchten porösen Körper gar nicht zu denken an eine chemische Beziehung derselben zu den Flüssigkeiten, mit denen getränkt sie die Erscheinung zeigen, z. B. bei Hydrophan und Holzfaser, die mit destillirtem Wasser getränkt sind.

Eher schon könnte man auf den Gedanken kommen, dafs die porösen Körper gewisse mechanische Bedingungen erfüllen müssen, um innerlich polarisirbar zu sein. Zwar sieht man feste und halbweiche, krystallinische, organisirte und wie der Blutfaserstoff und das geronnene Eiweifs gewissermafsen homogene Körper in gleicher Art, wenn auch in verschiedenem Grade, mit innerer Polarisirbarkeit begabt. Allein mehrere Umstände scheinen zu zeigen, dafs das Mafs derselben wächst mit der Annäherung der Theilchen der Körper aneinander und mit der Starrheit ihres Gefüges. Also z. B. ist die innere Polarisirbarkeit des Kalksteins und des Holzes stärker als die der Kreide und des Fliefs-

Digitized by Google

papieres; und während der flüssige Gyps, der weiche Magnesiateig, der Blutkuchen keine deutliche Spur innerer Polarisation erkennen lassen, tritt sie deutlich hervor am erstarrten Gyps, am erhärteten Magnesiateig, und an dem durch Schlagen des Blutes gewonnenen Faserstoff.

Obgleich nicht zu begreifen ist, wie ein schlechtleitender Elektrolyt, eingeschlossen in sehr engen Höhlungen eines starren Nichtleiters, die Erscheinungen der inneren Polarisation sollte hervorbringen können, hielt ich es nicht für überflüssig, durch einige Versuche festzustellen, ob Nähe und Unbeweglichkeit der Theilchen wirklich solchen Einfluſs üben, wie aus den angeführten Beispielen zu erhellen scheint.

Zu diesem Zweck traf ich solche Einrichtung, daſs poröse Massen, während sie auf innere Polarisation geprüft wurden, zugleich einem starken Druck ausgesetzt werden konnten. Ich lieſs aus hartem Holz eine H-förmige Rinne von denselben Maſsen wie die oben S. 429. 430 beschriebene Guttapercharinne schnitzen. Das quere Stück der Rinne füllte ein Block aus demselben Holze so genau aus, daſs er sich darin ohne Reibung auf- und abbewegte. Zwei metallene Schraubenzwingen waren so an dem Querstück angebracht, daſs mittelst derselben der Block mit groſser Gewalt in der queren Rinne niedergetrieben werden konnte. Rinne und Block waren gut gefirniſst. Die vier Enden der Rinne wurden mit aufgekitteten Flieſspapierkappen geschlossen, mit dem zusammenzudrückenden lockeren Haufwerk gefüllt, und mittelst passender Vorrichtungen zwischen den Zuleitungsbäuschen der Säule und denen des Multiplicators unverrückbar aufgestellt. Anfangs lag der Block auf der die Querrinne füllenden Masse nur lose auf. Nachdem aber die Prüfung auf innere Polarisirbarkeit in gewohnter Art stattgefunden, wurden die Druckschrauben angezogen, und die Prüfung erneuert. Nach Lösung der Schrauben wurde zum dritten Mal auf innere Polarisation untersucht u. s. w.

Es gelang auf diese Art, durch Druck die innere Polarisirbarkeit von Flieſspapier zu erhöhen, nicht aber innere Polarisirbarkeit an feuchten Massen zu erzeugen, die ohne Druck keine solche zeigten. Ich versuchte dies vergeblich mit dem ungeschlemmten und geschlemmten Quarzsande, den Schwefelblumen und der gebrannten Bittererde, die sämmtlich mit destillirtem Wasser angerührt waren (S. oben S. 434). In keinem Falle brachte der Druck innere Polarisirbarkeit hervor, obschon er öfter so stark war, daſs der Block dadurch gespalten wurde, und obschon die stärksten Ströme lange Zeit durch die Rinne gingen.

Es glückt also nur zum Theil, den sich in den oben angeführten Fällen scheinbar kundgebenden Einfluſs des Aggregatzustandes mit Hülfe

Digitized by Google

von Druck künstlich nachzuahmen; und da man, wie bemerkt, bei diesem Zusammenhange zwischen Aggregatzustand und innerer Polarisirbarkeit sich nichts zu denken vermag, wird es gerathen sein, einer anderen Betrachtung Gehör zu geben, der nämlich, dafs so wenig wie die chemische, die mechanische Beschaffenheit der innerlich polarisirbaren Körper hier von grofser Bedeutung sein könne, da Körper von ganz verschiedenem Aggregatzustande, wie knetbarer Thon, Faserstoff, Holz die Erscheinung zeigen, während von Körpern ganz ähnlichen Aggregatzustandes der eine, wie geronnenes Eiweifs, Seife, Hanfschnur sie zeigt, der andere, wie Leim, Käse, Seidenschnur sie versagt.

(XIII) Allgemeine Theorie der inneren Polarisation.

Wir sind nun so weit gelangt, dafs ich dem Leser die Vorstellung mittheilen kann, die ich mir über das Wesen der inneren Polarisation gemacht habe. Meiner Meinung nach ist die Sache einfach folgende.

Die Ähnlichkeit in dem secundär-elektromotorischen Verhalten eines Stückes wohlausgeglühter Kohle, die mit irgend einem Elektrolyten getränkt ist, und dem eines Stückes Holz, Seife, Badeschwamm, Bimsstein, die mit Wasser getränkt sind, haben wir bisher als eine ganz äufserliche aufgefafst; wir haben oben S. 462 jene die künstliche genannt im Gegensatz zu dieser, als der natürlichen. Meine Ansicht geht nun dahin, dafs keinesweges jene Ähnlichkeit eine blofs äufserliche ist, sondern dafs beide Erscheinungen im Wesentlichen vollkommen einerlei sind.

Die Körper, welche nur mit schlecht leitenden Elektrolyten getränkt innere Polarisirbarkeit zeigen, gelten allerdings im trocknen Zustande gemeinhin für Nichtleiter, wenigstens im Gebiete des Galvanismus. Im Gebiete der Reibungselektricität, wo in dieser Beziehung schärfer unterschieden wird, gelten aber bereits davon viele für Halbleiter.[1] Berührt man damit den Knopf eines geladenen Elektroskopes, so fallen die Goldblätter langsam zusammen. Jene Körper leiten also, wenn auch noch so schwach; und in sehr dünnen Schichten kann sogar ihr Leitvermögen nicht ganz unbeträchtlich sein.

Dabei ist anzunehmen, dafs sie nach Art der Metalle, physisch, nicht elektrolytisch leiten. Wenn sie folglich den Strom in einen Elektrolyten ein- oder aus ihm herausführen, so werden daran, wie an metallischen Elektroden, die Zersetzungsstoffe ausgeschieden werden; und es

[1] Riess, Die Lehre von der Reibungselektricität. Berlin 1853. Bd. I. S. 27. §. 23.*

Digitized by Google

können, ja es müssen sogar dergestalt secundär-elektromotorische Kräfte in umgekehrter Richtung des ursprünglichen Stromes zu Stande kommen, ganz wie dies bei Zersetzung des Wassers zwischen Platinelektroden der Fall ist.

Wollte man durch Elektroden aus irgend einem der obigen Halbleiter, die man in irgend einen Elektrolyten tauchen liefse, merkliche Ladungen zu Wege bringen, so würde dies aus leicht begreiflichen Gründen fehlschlagen. Keine Säule würde kräftig, kein Multiplicator empfindlich genug sein, damit eine Wirkung wahrgenommen würde. Leichter würde dies schon gelingen, wenn man anstatt den schlechten Leiter in Gestalt von Elektroden in den Kreis zu bringen, ihm die Form einer ausnehmend dünnen Zwischenplatte zu ertheilen vermöchte. Am zweckmäfsigsten würde die Anordnung, wenn man nicht blofs eine einzige solche dünne Zwischenplatte, sondern deren eine gewisse, nach den Umständen verschiedene Anzahl in den Kreis bringen könnte.

Diese Anordnung leistet indefs noch nicht ganz, was sie soll. Man sieht nämlich, dafs dabei auch mit gutleitenden Elektrolyten Ladung eintreten müfste, ja sogar, des geringeren Widerstandes wegen, noch stärker, wenn man, wie wir dies in dieser Verhandlung bis auf Weiteres thun wollen, davon absieht, dafs ein und derselbe Strom an der Grenze verschiedener Elektrolyte und Halbleiter vermuthlich nicht stets einerlei secundär-elektromotorische Kraft erzeugt. Dies nun scheint mit unseren Versuchen im Widerspruch.

Allein jetzt stelle man sich die halbleitenden Zwischenplatten von unzähligen kleinen Öffnungen durchbohrt vor, so dafs der Elektrolyt frei durch sie zusammenhängt. Er wird nun eine Nebenschliefsung für den übrigen Theil der Zwischenplatten abgeben, und die Folge wird sein, dafs der Stromtheil, der noch durch die Zwischenplatten selber geht und der allein die secundär-elektromotorische Kraft erzeugt, abhängig wird von dem eigenthümlichen Widerstande des Elektrolyten. Er wird um so kleiner, je besser der Elektrolyt leitet; und um so kleiner wird folglich die secundär-elektromotorische Kraft. Es kommt aber noch hinzu, dafs die Wirkung, die diese Kraft nachher im Multiplicatorkreise hervorzubringen vermag, abermals geschwächt wird durch die Nebenschliefsung, die der durch die Öffnungen der Zwischenplatten zusammenhängende Elektrolyt darbietet, und dafs sie folglich um so kleiner wird, je geringer der eigenthümliche Widerstand des Elektrolyten.

In der That, und um dem Gesagten einen schärferen Ausdruck zu verleihen, man stelle sich ein poröses Gerüst vor von bestimmter Beschaffenheit in Bezug auf räumliche Anordnung und Leitungsfähigkeit, und denke sich dasselbe getränkt mit einem Elektrolyten zuerst von

Digitized by Google

verschwindendem, dann von immer wachsendem eigenthümlichen Widerstande. Man denke sich die Stärken des Stromes, den der poröse Körper, getränkt mit dem Elektrolyten von wachsendem Widerstande, nach gleich langem Aufenthalt im Kreise der nämlichen Säule in einem und demselben Kreise im ersten Augenblick erzeugt, als Ordinaten auf die eigenthümlichen Widerstände des Elektrolyten als Abscissen aufgetragen. Die entspringende Curve wird alsdann, soviel sich beurtheilen läfst, folgenden Gang nehmen.

Wo der Widerstand des Elektrolyten im Vergleich zu dem des porösen Gerüstes verschwindet, wird die Ordinate der Curve gleichfalls verschwinden. Sie steigt dann, mit wachsendem Widerstande, bis zu einem Maximum an, um darauf wieder zu sinken, und schliefslich bei unendlich grofs werdendem Widerstande abermals zu verschwinden, indem sie sich der Abscissenaxe asymptotisch anschliefst. Die Höhe der Ordinaten hängt unter gleichen Umständen begreiflich ab von der Stärke und Dauer des Stromes, der Länge des durchströmten porösen Halbleiters, der specifischen Kraft der secundär-elektromotorischen Combination, der räumlichen Anordnung der festen Theile und des Elektrolyten im Inneren des Körpers, dem eigenthümlichen Widerstande des letzteren, endlich der Temperatur, insofern sie auf die Widerstände sowohl wie auf die secundär-elektromotorische Kraft Einfluſs hat. Die Lage des Maximums aber muſs bestimmt werden durch die drei letzteren Umstände, durch die Temperatur deshalb, weil von ihr die Widerstände des Halbleiters und des Elektrolyten abhängen. Das Maximum wird sich um so früher einstellen, je besser leitend der poröse Körper im Vergleich zum Elektrolyten ist, und je mehr die Höhlungen in demselben gegen die festen Balken zurücktreten. Es wird um so weiter hinausrücken, je weniger diese, je mehr die entgegengesetzten Bedingungen erfüllt sind.

Aus dem Gesagten folgt, daſs es immer zwei verschiedene Grade des Widerstandes des Elektrolyten geben müsse, für welche die Stärke der secundär-elektromotorischen Wirkung dieselbe ist. In dem einen Falle, diesseit des Maximums, geht bei geringem Widerstande des Elektrolyten von dem starken primären Strome nur ein kleiner Theil durch das halbleitende poröse Gerüst, es kommt eine verhältnifsmäfsig geringe secundär-elektromotorische Kraft zu Stande, und die dadurch im Multiplicatorkreis erzeugte Wirkung wird noch durch die gute Nebenschliefsung geschwächt, die der Elektrolyt für den Multiplicatorkreis bildet. In dem anderen Falle, jenseit des Maximums, geht bei grofsem Widerstande des Elektrolyten von dem allerdings schwächeren primären Strom ein so viel gröfserer Antheil durch das poröse Gerüst, und von

Digitized by Google

der erzeugten verhältnifsmäfsig stärkeren secundär-elektromotorischen Wirkung, vermöge der weniger schwächenden Nebenschliefsung durch den Elektrolyten ein so viel gröfserer Antheil durch den Multiplicatorkreis, dafs schliefslich eine eben so starke Wirkung auf die Nadel ausgeübt wird, wie im ersten Falle.

Man kann sich dies Verhalten an einer einfacheren Anordnung klar machen. Oben S. 444 haben wir die innerlich polarisirbaren Körper so aufgefafst, als wechselten in ihnen, in der Richtung des Stromes, secundär-elektromotorisch wirksame Querebenen mit nur leitenden Querscheiben ab, und wir vermochten aus dieser Annahme mit hinreichender Genauigkeit die Abhängigkeit der Stärke der secundär-elektromotorischen Wirkung von den Dimensionen der Körper abzuleiten. Jetzt wollen wir eine ähnlich vereinfachte Betrachtung anstellen, indem wir aber diesmal den Vorgang im Element des innerlich polarisirbaren Körpers in's Auge fassen. Ein solches Element läfst sich folgendermafsen schematisiren. Wir setzen an seine Stelle (S. Fig. 162 Taf. VI) zwei der Axe parallel durchflossene Flüssigkeitssäulen, oder Prismen eines Elektrolyten, deren Grundflächen B_1, B_2; B^1, B^2 unpolarisirbare Metallplatten anliegen, so dafs B_1, B_2 Theile Einer, B^1, B^2 Theile einer anderen isoëlektrischen Fläche bilden. Das eine Prisma habe die Länge λ, den Querschnitt q, das andere die Länge λ', den Querschnitt q'. Der eigenthümliche oder specifische Widerstand des Elektrolyten sei s. In das Prisma vom Widerstande $\lambda s : q$ sei senkrecht auf seine Axe eine seinen Querschnitt einnehmende polarisirbare Zwischenplatte zp eingeschaltet. Die Dicke der Platte sei δ, ihr specifischer Widerstand σ, ihr Widerstand überhaupt also $\delta\sigma : q$, und der des sie enthaltenden Flüssigkeitsprisma's $(\lambda s + \delta\sigma) : q$. Man könnte auch statt λ setzen $\lambda' - \delta$, doch geht daraus keine nennenswerthe Vereinfachung hervor, und bei der gewählten Notation bleiben die Formeln durchsichtiger.

Den gemeinsamen metallischen Elektroden, an welche die Grundflächen der Prismen grenzen, sind einerseits die Enden eines Säulenkreises vom Gesammtwiderstande Σ angelegt, in welchem eine elektromotorische Kraft $+ E$ herrscht, andererseits die Enden eines Multiplicatorkreises vom Gesammtwiderstande M. Wir nehmen an, dafs die Widerstände in den metallischen Elektroden gegen alle sonst in Betracht kommenden Widerstände verschwinden. Steht der Multiplicatorkreis bei m, n offen, so wird die Zwischenplatte durchflossen von einem Stromzweige

Digitized by Google

$$I = \frac{E \cdot \frac{\lambda' s}{q'}}{\Sigma\left(\frac{\lambda' s}{q'} + \frac{\lambda s}{q} + \frac{\delta\sigma}{q}\right) + \frac{\lambda' s}{q'}\left(\frac{\lambda s}{q} + \frac{\delta\sigma}{q}\right)} \quad \ldots (1)$$

Dieser Zweig erzeugt in der Platte eine secundär-elektromotorische Kraft — E', welche wir, wie oben S. 445 in ähnlichem Fall, der Dichte und Dauer des ursprünglichen Stromes einfach proportional setzen. Da E' nur sehr klein im Vergleich zu E, sehen wir, wie dies stillschweigend auch schon oben S. 445 geschah, von der Schwächung der ursprünglichen Stromstärke durch die Polarisation ab. Übrigens lassen wir der Einfachheit halber die Öffnung des Säulenkreises in der Idee wieder zeitlich zusammenfallen mit der Schliefsung des Multiplicatorkreises. Endlich durch n bezeichnen wir abermals den von der stofflichen Natur des Elektrolyten und der Zwischenplatte abhängigen Polarisationscoëfficienten.

Übertragen wir nun also zur Zeit t durch Öffnen in o, p und Schliefsen in m, n die Schliefsung vom Säulen- auf den Multiplicatorkreis, so erfolgt im ersten Augenblick, den wir allein berücksichtigen, ein Polarisationsstrom von der Stärke

$$I' = \frac{-n \cdot t \cdot \frac{I}{q} \cdot \frac{\lambda' s}{q'}}{M\left(\frac{\lambda' s}{q'} + \frac{\lambda s}{q} + \frac{\delta\sigma}{q}\right) + \frac{\lambda' s}{q'}\left(\frac{\lambda s}{q} + \frac{\delta\sigma}{q}\right)} \quad \ldots (2)$$

Setzt man für I seinen Werth aus (1), so erhält man durch Multiplication in Zähler und Nenner mit $\frac{q^2}{\lambda^2}$ den Ausdruck für I' in folgender Gestalt:

$$I' = \frac{\frac{-ntEq}{\lambda^2}}{\left\{s + \frac{M\delta\sigma q'}{\lambda\lambda'} \cdot \frac{1}{s} + \frac{\delta\sigma}{\lambda} + M\left(\frac{q}{\lambda} + \frac{q'}{\lambda'}\right)\right\}\left\{s + \frac{\Sigma\delta\sigma q'}{\lambda\lambda'} \cdot \frac{1}{s} + \frac{\delta\sigma}{\lambda} + \Sigma\left(\frac{q}{\lambda} + \frac{q'}{\lambda'}\right)\right\}} \quad \ldots (3)$$

So wie er dasteht, genügt dieser Ausdruck, den wir $F(s)$ nennen wollen, um die erste Frage zu beantworten, auf die es uns ankommt, ob mit wachsendem specifischen Widerstand s des Elektrolyten die Stärke des Polarisationsstromes erst zu-, dann abnimmt, mit anderen Worten, ob sie ein Maximum besitzt. Denn die Function $F(s)$ wird = Null durch $s = 0$ und durch $s = \infty$, dazwischen hat sie einen endlichen Werth, folglich mindestens Ein Maximum. Umständlicher gestaltet sich die Lösung der Aufgabe den Werth oder die Werthe von s anzugeben,

Digitized by Google

für welche ein Maximum stattfindet, und zu ermitteln, ob diese Werthe bei um so gröfserem specifischen Widerstand des Elektrolyten eintreten, je gröfser der specifische Widerstand σ der Zwischenplatte.

Damit die Function $F(s)$ ein Maximum werde, mufs deren Nenner, welcher $P(s)$ heifse, ein Minimum sein. Kürze halber setzen wir

$$\frac{Mq'}{\lambda'} = a, \quad \frac{\Sigma q'}{\lambda'} = b, \quad \frac{\delta\sigma}{\lambda} = c, \quad \frac{\lambda' q}{\lambda q'} = r.$$

Dann haben wir

$$P(s) = (s + \frac{ac}{s} + ar + a + c)\,(s + \frac{bc}{s} + br + b + c), \ldots (4)$$

und als erste Bedingungsgleichung des Minimums

$$\frac{dP(s)}{ds} = (s + \frac{bc}{s} + br + b + c)\left(1 - \frac{ac}{s^2}\right)$$
$$+ (s + \frac{ac}{s} + ar + a + c)\left(1 - \frac{bc}{s^2}\right) = 0 \quad \ldots (5)$$

Diese Gleichung ist vom vierten Grade. Da die beiden ersten Factoren eines jeden Gliedes derselben positiv sind, kann sie nur erfüllt sein entweder, wenn die beiden zweiten Factoren selber $= 0$, oder wenn sie von verschiedenen Zeichen sind. Im ersten Falle wäre $a = b$, also $M = \Sigma$; da aber, falls nicht ganz besondere Umstände obwalten, $\Sigma > M$ und also $b > a$ anzunehmen ist, so ist vorzugsweise der letztere Fall zu berücksichtigen, und es kann die Gleichung (5) also nur erfüllt sein, wenn

$$\frac{bc}{s^2} > 1 > \frac{ac}{s^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (6)$$

Die weitere Behandlung des allgemeinen Falles nach den Regeln der Maxima- und Minima-Rechnung führt zu Verwickelungen, die sich aber für unseren Zweck hinreichend sicher folgendermafsen umgehen lassen.

Die beiden nur durch M und Σ unterschiedenen, sonst ganz ähnlichen Factoren von $P(s)$ bezeichnen wir als Function von s, σ und beziehlich M und Σ mit $\varphi(s, \sigma, M)$, $\varphi(s, \sigma, \Sigma)$ und setzen:

$$y_M = \varphi(s, \sigma, M), \quad y_\Sigma = \varphi(s, \sigma, \Sigma).$$

In den Curven, welche diese beiden Gleichungen darstellen, wenn man unter s und y rechtwinklige Coordinaten versteht, erkennt man aus der Form, welche $\varphi(s, \sigma, M)$, $\varphi(s, \sigma, \Sigma)$ in (4) haben, leicht Hyperbeln, die so wie in Fig. 163 Taf. VI gelagert sind.

Digitized by Google

Die Abscissenaxe $0S$ stellt das wachsende s vor. Die Ordinatenaxe $0Y$ fällt zusammen mit der einen Asymptote $\mathfrak{C}U$, $\mathfrak{C}'U'$ beider Hyperbeln, da für $s = 0$ jeder der beiden Factoren unendlich, $I' =$ Null wird. Der andere Zweig der beiden Hyperbeln wächst mit s in die Unendlichkeit, gleichfalls entsprechend der schon oben gewonnenen Einsicht, dafs I' auch durch $s = \infty$ Null wird.

Betrachten wir zunächst die Hyperbel $\mathfrak{a}\mathfrak{b}\mathfrak{c}$, welche die Gleichung $y_M = \varphi(s, \sigma, M)$ vorstellen soll. Ihr Mittelpunkt $\mathfrak{C}$ fällt nicht zusammen mit dem Ursprung 0 der rechtwinkligen Coordinaten Y, S, sondern bleibt auf der Ordinatenaxe davon entfernt um das Stück $\mathfrak{C}0$, welches h heifsen mag. Die andere Asymptote der Hyperbel, $\mathfrak{C}W$, macht mit der Abscissenaxe einen Winkel α. Es heifsen die Coordinaten eines Punktes der Hyperbel bezogen auf ihre Asymptoten u, w, so dafs die Ordinatenaxe $0Y$ von $\mathfrak{C}$ ab auch Ordinatenaxe für die so bezogene Hyperbel ist: so ist die Gleichung der letzteren $uw = m^2$, wo m die Seite des Rhombus $\mathfrak{C}d\mathfrak{b}e$.

Setzt man, um die Hyperbel auf die rechtwinkligen Coordinaten Y, S zu beziehen,

$$u = y - h - s \operatorname{tg} \alpha, \quad w = \frac{s}{\cos \alpha},$$

so folgt

$$y = s \operatorname{tg} \alpha + \frac{m^2 \cos \alpha}{s} + h.$$

Die rechte Seite dieser Gleichung wird identisch mit dem ersten Factor von $P(s)$, wenn man

$$\operatorname{tg} \alpha = 1, \quad m^2 \cos \alpha = ac, \quad h = ar + a + c$$

macht. Der Winkel α ist also $= 45°$, und bei der $F(s)$ ertheilten Form unabhängig von den Constanten der Aufgabe. Dagegen wächst

$$m = \pm \sqrt{\frac{M \delta \sigma q'}{\lambda \lambda'} \cdot \frac{1}{\cos 45°}} \quad \ldots\ldots\ldots (7)$$

parabolisch,

$$h = M\left(\frac{q}{\lambda} + \frac{q'}{\lambda'}\right) + \frac{\delta \sigma}{\lambda} \quad \ldots\ldots\ldots (8)$$

linear mit M. Man denke sich die Constanten q, q', λ, λ', δ, σ bestimmt, und die Parabel (7) sowie die Gerade (8) construirt. Der zweite Factor von $P(s)$, $y_\Sigma = \varphi(s, \sigma, \Sigma)$, unterscheidet sich von dem ersten nur dadurch, dafs, nach (6), $\Sigma > M$. Wir finden also die diesen zweiten Factor darstellende Hyperbel, indem wir von der Parabel (7) und der Geraden (8) das dem $\Sigma > M$ entsprechend gröfsere Ordinatenpaar m', h' nehmen. Diese Hyperbel wird im Vergleich zur ersten etwa so liegen, wie $\mathfrak{a}'\mathfrak{b}'\mathfrak{c}'$

Digitized by Google

in Fig. 163, d. h. ihre Potenz $u' w' = m'^2 = \mathfrak{C}' d' \mathfrak{b}' e'$ wird gröfser, und ihr Mittelpunkt $\mathfrak{C}'$ auf der Ordinatenaxe um ein gröfseres Stück $0\mathfrak{C}' = h'$ vom Ursprunge der rechtwinkligen Coordinaten entfernt sein. Wie schon bemerkt, fällt die eine Asymptote $\mathfrak{C}' U'$ der zweiten Hyperbel gleichfalls zusammen mit der Ordinatenaxe; ihre andere Asymptote $\mathfrak{C}' W'$ schneidet die Abscissenaxe auch unter 45°, und die in $\mathfrak{C}\mathfrak{b} P$, $\mathfrak{C}'\mathfrak{b}' P'$ verlängerten grofsen Axen der beiden Hyperbeln sind einander parallel.

Unsere Aufgabe wäre nun, diejenigen demselben s zugehörigen rechtwinkligen Ordinaten der beiden Hyperbeln zu finden, die miteinander multiplicirt das kleinste Rechteck, möglichenfalls die kleinsten Rechtecke geben. Wir haben nun zwar kein Mittel, diese Ordinaten genau zu bezeichnen, einengen aber können wir ihre Lage zwischen bestimmte Grenzen.

Wir suchen zunächst die kleinsten Ordinaten $s' f f'$, $s'' g g'$ der beiden auf die rechtwinkligen Coordinaten bezogenen Hyperbeln auf. Sie liegen bei

$$s' = \pm \sqrt{\frac{M \delta \sigma q'}{\lambda \lambda'}}, \quad s'' = \pm \sqrt{\frac{\Sigma \delta \sigma q'}{\lambda \lambda'}}.$$

Da s nicht negativ sein kann, gilt das positive Zeichen. s' und s'' sind bei gegebenem m, m' leicht zu construiren, denn man hat

$$s' = m \sqrt{\sin 45°} = 0.8408960\, m$$
$$s'' = m' \sqrt{\sin 45°} = 0.8408960\, m'.$$

Dies ist das in der Figur angenommene Verhältnifs, welches sich ändert, wenn man in (2) nicht mit λ^2 dividirt (S. oben S. 484), da dann $\operatorname{tg} \alpha = \lambda$ wird.

Das Ordinatenpaar der beiden Hyperbeln, welches das kleinste Product liefern soll, mufs zwischen den beiden kleinsten Ordinaten der Curven liegen. Denn von Null wie von den wachsenden s her nehmen die Ordinaten beider Curven bis zu den beiden Minimalordinaten hin stetig ab. Von s' ab in der Richtung der wachsenden s wächst dann freilich wieder die Ordinate y_M, und von s'' in der Richtung der abnehmenden s ebenso die Ordinate y_Σ. Allein wegen der Nähe des Minimums von y_M nimmt y_Σ schneller ab als y_M wächst, und ebenso wegen der Nähe des Minimums von y_Σ, y_M schneller als y_Σ wächst. Das Abnehmen der Ordinaten y_Σ von s' nach s'', während zwischen denselben Grenzen die Ordinaten y_M wachsen, entspricht übrigens der aus (6) sich ergebenden analytischen Bedingung, denn die zweiten Factoren der beiden Glieder in (5) sind nichts Anderes als die Differen-

Digitized by Google

tiale der Gleichungen der beiden Hyperbeln. Übrigens findet nur Ein Minimum statt. Denn es liege dieses bei $\mathfrak{s}$, und es sei $\mathfrak{s}\,k$, $\mathfrak{s}\,k'$ das gesuchte, das kleinste Product liefernde Ordinatenpaar. Dies heifst soviel, wie dafs (von Null her gerechnet) jetzt das Wachsthum von y_{Σ} die Abnahme von y_M übertrifft. Gäbe es ein zweites Minimum, so müfste zuerst ein Maximum eintreten. Nun fahren aber nach dem Minimum bei $\mathfrak{s}$ die beiden Ordinaten fort, nach den wachsenden s zu sich stetig in gleichem Sinne zu verändern, bis sie schliefslich mit den Ordinaten der parallelen Asymptoten $\mathfrak{C}W$, $\mathfrak{C}'W'$ zusammenfallen. Es fehlt also jeder Grund für das Stattfinden eines Maximums zwischen $\mathfrak{s}$ und s'', und folglich auch für das eines dort gelegenen zweiten Minimums.

Für $M = \Sigma$ fallen zugleich mit den beiden Curven ihre beiden Minimalordinaten mit den dazwischen liegenden das kleinste Product liefernden Ordinaten in Eins zusammen, und man hat zur Bedingung des einzigen Minimums

$$\mathfrak{s} = \pm\sqrt{\frac{M\,\delta\,\sigma\,q'}{\lambda\,\lambda'}} = \pm\sqrt{\frac{\Sigma\,\delta\,\sigma\,q'}{\lambda\,\lambda'}}.$$

Was nun die uns besonders interessirende Frage betrifft, so ergiebt sich, dafs die beiden Werthe s' und s'', zwischen denen $\mathfrak{s}$ im allgemeinen Fall liegt, mit wachsenden σ unbegrenzt hinausrücken, wobei ihr Abstand

$$s'' - s' = (\sqrt{\Sigma} - \sqrt{M})\sqrt{\frac{\delta\,\sigma\,q'}{\lambda\,\lambda'}}$$

gleichfalls wächst. Zugleich rücken die Mittelpunkte $\mathfrak{C}$, $\mathfrak{C}'$ an der Ordinatenaxe um ein gleiches, dem Wachsthum von σ proportionales Stück in die Höhe, m wächst im Verhältnifs von $\sqrt{\sigma}$ u. s. w. Ohne uns in ganz willkürliche Annahmen über die einzelnen Constanten einzulassen, können wir mit derartigen Folgerungen nichts weiter anfangen, sondern müssen uns damit begnügen, dafs unsere der Anschauung entnommenen Schlüsse in Betreff der Abhängigkeit, in der $\mathfrak{s}$ von σ steht, die Probe einer schematischen Rechnung soweit gut bestanden haben. Übrigens braucht wohl kaum bemerkt zu werden, dafs, abgesehen von den analytischen Schwierigkeiten, zu einer mehr der Wirklichkeit sich anschliefsenden, den inneren Bau der feuchten porösen Leiter berücksichtigenden Behandlung vorläufig jede Grundlage fehlt, und kaum je zu beschaffen sein wird. Die Aufgabe, von der hier versuchten Betrachtung des auf's Äusserste vereinfachten Elementes des innerlich polarisirbaren Körpers zu der des Gesammtkörpers emporzusteigen, und zwischen der hier versuchten Zergliederung und der oben S. 444 vorgenommenen

Digitized by Google

die Verbindung herzustellen, spottet sowohl unserer Kräfte wie auch unserer Einsichten.[1]

[1] Mein Freund Herr Leopold Kronecker hatte jetzt (1883) die Gefälligkeit, auf rein analytischem Wege den Beweis zu entwickeln, dafs der Ausdruck (3) ein Maximum, oder der (4) ein Minimum für s habe, und dafs der Werth von s, für welchen das Minimum eintrifft, mit σ wachse. Er verfährt folgendermafsen.

Die vier Wurzeln der Gleichung $s^2 P(s) = 0$, negativ genommen, nämlich

$$+\tfrac{1}{2}(ar + a + c) \pm \tfrac{1}{2}\sqrt{(ar + a - c)^2 + 4acr},$$
$$+\tfrac{1}{2}(br + b + c) \pm \tfrac{1}{2}\sqrt{(br + b - c)^2 + 4bcr},$$

sollen in der Reihe, wie sie dastehen, t, u, v, w heifsen. Diese vier Werthe sind reell, und überdies positiv; denn die Summen $t + u = ar + a + c$, $v + w = br + b + c$, und ebenso die Producte $tu = ac$, $vw = bc$ sind positiv.

Nun wird

$$P(s) = \frac{1}{s^2}(s + t)(s + u)(s + v)(s + w),$$

und hiervon ist das Minimum zu suchen. Man hat

$$\frac{d \log P(s)}{ds} = \frac{d \log s^{-2}}{ds} + \frac{d \log (s + t)}{ds} + \frac{d \log (s + u)}{ds} + \frac{d \log (s + v)}{ds} + \frac{d \log (s + w)}{ds},$$

und wenn

$$\frac{dP(s)}{ds} = P'(s) \text{ ist, } \frac{d \log P(s)}{ds} = \frac{P'(s)}{P(s)}.$$

Also kommt:

$$\frac{P'(s)}{P(s)} = -\frac{2}{s} + \frac{1}{s + t} + \frac{1}{s + u} + \frac{1}{s + v} + \frac{1}{s + w},$$

oder

$$\frac{s P'(s)}{P(s)} = -2 + \frac{s}{s + t} + \frac{s}{s + u} + \frac{s}{s + v} + \frac{s}{s + w}.$$

Dies sei $Q(s)$. Dann ist

$$\frac{dQ(s)}{ds} = Q'(s) = \frac{t}{(s + t)^2} + \frac{u}{(s + u)^2} + \frac{v}{(s + v)^2} + \frac{w}{(s + w)^2}, \quad \ldots \quad (*)$$

also positiv. Für kleine, nahe der Null liegende, positive Werthe von s ist $\frac{s}{P(s)}$ positiv, aber $Q(s)$ nahe $= -2$; also ist $P'(0)$ negativ. Für $s = +\infty$ wird $Q(s) = +2$, also giebt es einen positiven Werth $\mathfrak{s}$ von s, für welchen $P'(s) = 0$ ist.

Wenn $s P'(s) = P(s) Q(s)$ differentiirt wird, ist allgemein

$$P'(s) + s P''(s) = P'(s) Q(s) + P(s) Q'(s),$$

wo $P''(s)$ die zweite Ableitung von $P(s)$ bedeutet.

Da $P'(s) = 0$ für $s = \mathfrak{s}$, so haben wir:

$$\mathfrak{s} P''(\mathfrak{s}) = P(\mathfrak{s}) Q'(\mathfrak{s}),$$

und da $\mathfrak{s}$, $P(\mathfrak{s})$, $Q'(\mathfrak{s})$ positiv sind, ist es auch $P''(\mathfrak{s})$. Es ist also $P(\mathfrak{s})$ in der

Digitized by Google

That ein Minimum, da die erste Ableitung gleich Null und die zweite positiv ist. Hieraus geht auch hervor, dafs es nur einen Werth ϑ giebt. Denn $Q(s)$ wird für positive s nicht unendlich, und es müfste also, wenn es noch einen Werth ϑ gäbe, dabei $P'(s)$ aus dem Positiven in's Negative übergehen, also $P''(s)$ negativ sein.

Jetzt handelt es sich darum, zu beweisen, dafs ϑ mit σ wächst. Da ϑ Wurzel der Gleichung $Q(s) = 0$ ist, haben wir

$$Q(\vartheta) = -2 + \frac{\vartheta}{\vartheta + t} + \frac{\vartheta}{\vartheta + u} + \frac{\vartheta}{\vartheta + v} + \frac{\vartheta}{\vartheta + w} = 0;$$

dabei ist ϑ positiv. Die Gröfsen t, u, v, w hängen von c ab, welches σ proportional ist. Wir schreiben deshalb: $Q(\vartheta, c)$, und dann ist das vollständige Differential:

$$\frac{\partial Q(\vartheta, c)}{\partial \vartheta} d\vartheta + \frac{\partial Q(\vartheta, c)}{\partial c} dc = 0,$$

also:

$$\frac{\lambda}{\vartheta} \cdot \frac{d\vartheta}{d\sigma} = \frac{d\vartheta}{dc} = \frac{\dfrac{-\partial Q(\vartheta, c)}{\partial c}}{\dfrac{\partial Q(\vartheta, c)}{\partial \vartheta}}.$$

Um nun zu beweisen, dafs $\frac{d\vartheta}{d\sigma}$ positiv ist, braucht nur gezeigt zu werden, dafs der Zähler:

$$\frac{-\partial Q(\vartheta, c)}{\partial c}$$

positiv ist; denn dafs der Nenner

$$\frac{\partial Q(\vartheta, c)}{\partial \vartheta}$$

oder $Q'(\vartheta)$ positiv ist, sahen wir schon oben ein (Gleichung *).

Da t, u, v, w implicite σ enthalten, so ist:

$$\frac{-\partial Q(\vartheta, c)}{\partial c} = \frac{\vartheta}{(\vartheta + t)^2} \frac{dt}{dc} + \frac{\vartheta}{(\vartheta + u)^2} \frac{du}{dc} + \frac{\vartheta}{(\vartheta + v)^2} \frac{dv}{dc} + \frac{\vartheta}{(\vartheta + w)^2} \frac{dw}{dc}.$$

Die rechte Seite ist also offenbar positiv, wenn $\frac{dt}{dc}, \frac{du}{dc}, \ldots$ positiv sind. Es ist nun, wenn die durch t, u, v, w dargestellten Wurzelausdrücke nach c differentiirt werden,

$$\frac{2\,dt}{dc} \text{ und } \frac{2\,du}{dc} = 1 \pm \frac{1}{\sqrt{1+g}},$$

$$\frac{2\,dv}{dc} \text{ und } \frac{2\,dw}{dc} = 1 \pm \frac{1}{\sqrt{1+h}},$$

wenn

$$g = \frac{4a^2 r}{(ar - a + c)^2}, \quad h = \frac{4b^2 r}{(br - b + c)^2}$$

ist. Die vier Differentialquotienten $\frac{dt}{dc}, \frac{du}{dc}, \ldots$ sind also in der That positiv, da die absoluten Werthe von

$$\frac{1}{\sqrt{1+g}}, \quad \frac{1}{\sqrt{1+h}}$$

kleiner als Eins sind.

Digitized by Google

(XIV) **Deutung einiger besonderen Umstände, welche sich bei der inneren Polarisation der feuchten porösen Körper zu erkennen geben.**

Wir kehren zur Erklärung unserer Erfahrungen an den porösen Halbleitern zurück. Da deren Widerstand im Vergleich zu dem der meisten Elektrolyte ein sehr beträchtlicher ist, so wird es, mit Hinblick auf die obigen Erörterungen, nunmehr verständlich, wie sie nur bei Tränkung mit den am schlechtesten leitenden Elektrolyten, wie mit destillirtem Wasser oder Brunnenwasser, starke Zeichen innerer Polarisation gaben, wie aber mit Ammoniakflüssigkeit, Kupfersulphatlösung nur schwache secundär-elektromotorische Wirkungen erhalten wurden, mit Kochsalzlösung, verdünnter Schwefelsäure und Chlorwasserstoffsäure vollends gar keine mehr. Doch wächst die Stärke der secundär-elektromotorischen Wirkungen nicht in's Unbegrenzte mit dem eigenthümlichen Widerstande des Elektrolyten. Wie man durch Zusatz eines Nicht-Elektrolyten, der Schwefelsäure, den Widerstand des Wassers vermindern kann, so kann man ihn auch durch Zusatz eines anderen Nicht-Elektrolyten, des Alkohols, erhöhen. Dabei kann es kommen, was uns oben S. 478 als im Widerspruch mit den übrigen Thatsachen erschien, jetzt aber sich leicht erklärt, dafs die secundär-elektromotorische Wirkung nicht merklich wächst; offenbar weil der Widerstand des Wassers dem Werth von s, der diese Wirkung zu einem Maximum macht, zufällig nahe entspricht.

Für die meisten von uns untersuchten porösen Halbleiter scheint gerade das Wasser ungefähr den Grad des eigenthümlichen Widerstandes darzubieten, der das Maximum der secundär-elektromotorischen Wirkung herbeiführt. Etwas Anderes ist es begreiflich mit der wohlausgeglühten Kohle. Diese leitet unter Umständen gut genug, damit bei Tränkung derselben auch mit den bestleitenden Elektrolyten sich starke innere Polarisation kundgebe. Wir haben oben S. 462 diese Polarisation die künstliche genannt, im Gegensatze zur vermeintlich natürlichen der mit Wasser getränkten porösen Halbleiter, und haben die gleichzeitige Gegenwart dieser beiden Arten innerer Polarisation in der Kohle angenommen. Wir thaten dies um zu erklären, wie Kohle nicht selten bei Tränkung mit Wasser stärkere innere Polarisation oder überhaupt dergleichen zeigte, wenn sie mit Salzlösung oder verdünnter Schwefelsäure getränkt beziehlich schwächere oder keine innere Polarisation gab. Eine Unterscheidung und verwickelte Annahme, wozu jetzt kein Grund mehr vorliegt. Alle die mannigfaltigen Erscheinungsweisen der inneren Polarisation der Kohle lassen sich mit Hülfe der obigen Grundsätze im

Digitized by Google

Wesentlichen zurückführen auf die mannigfaltigen Grade ihres eigenthümlichen Widerstandes. Ist sie vollkommen ausgeglüht, und leitet sie demgemäfs gut im Vergleich mit den besser leitenden Elektrolyten, so kann man sie, wie soeben schon gesagt wurde, mit solchen Elektrolyten, wie Kochsalzlösung, verdünnte Schwefelsäure tränken, und sehr starke secundär-elektromotorische Wirkungen von ihr erhalten. Der Werth von s, für welchen I' das Maximum erreicht, ist in Folge des geringen Werthes von σ gleichfalls sehr klein. Ist aber wegen mangelhaften Ausglühens die Kohle auf einer Stufe des Widerstandes stehen geblieben zwischen dem des Holzes und dem der wohlausgeglühten Kohle, so rückt der Werth von s, der das Maximum von I' herbeiführt, wieder weiter hinaus, und es kann sich ereignen, dafs mit Wasser eine kräftigere secundär-elektromotoriscke Wirkung erlangt wird, als mit Kochsalzlösung, ja dafs mit letzterer die Wirkung unmerklich ausfällt.

Ist ein poröser Körper so beschaffen, dafs er stufenweise mit verschiedenen Mengen desselben Elektrolyten getränkt werden kann, von Null bis zu einer unbegrenzten Menge, in der zuletzt die festen Theile aufgeschwemmt sind, wie dies in unseren Versuchen mit Thon und Seife der Fall war (S. oben S. 431. 436. 476): so kann die stetige Änderung der Menge des Elektrolyten auf die Stärke der secundär-elektromotorischen Wirkung den nämlichen Einfluſs üben, wie unter den bisher betrachteten Verhältnissen die stetige Änderung des eigentlichen Widerstandes des Elektrolyten. Zwar läfst sich in diesem Fall eine schematische Rechnung, wie wir sie für den Fall des sich ändernden specifischen Widerstandes durchführten, nicht gut anstellen; doch lehrt die Anschauung wohl sicher genug, dafs die Curve, deren Ordinaten die Stärke der secundär-elektromotorischen Wirkung bezogen auf die abnehmende Menge der tränkenden Flüssigkeit darstellen, gleich der bisher betrachteten von Null anheben werde; sie erreicht dann ein Maximum, dessen Lage vom eigenthümlichen Widerstande des porösen Körpers abhängt, und schliefst sich zuletzt der Abscissenaxe asymptotisch an. So stellten sich uns die Erscheinungen an Thon und Seife bei verschiedenen Graden der Tränkung mit Wasser, bis zum Aufschwemmen der festen Theile darin, wirklich dar.

Aus demselben Gesichtspunkte erklärt sich die Unwirksamkeit des Blutkuchens im Gegensatz zum Faserstoff in dem dichteren Zustande, wie er durch Schlagen des Blutes erhalten wird. Auch die Erhöhung der inneren Polarisirbarkeit des Papieres durch Druck gehört wohl hierher, sofern der Druck einen Theil der nebenschliefsenden Flüssigkeit aus den Räumen zwischen den Papierfasern auspreſst.

Von dem eigenthümlichen Widerstande des porösen Halbleiters war bisher die Rede erst in dem Sinne, dafs dadurch die Lage des Maxi-

Digitized by Google

mums der secundär-elektromotorischen Wirkung beeinflufst wird, die man unter sonst gleichen Umständen bei Tränkung des porösen Halbleiters mit immer schlechter leitenden Elektrolyten erhält. Es ist aber ferner klar, dafs bei Anwendung desselben Elektrolyten, und unter sonst gleichen Umständen, die secundär-elektromotorische Wirkung um so stärker ausfallen wird, je besser der poröse Körper stofflich leitet, und je dünner die Zwischenplatten, aus welchen bestehend man ihn betrachten kann; ein Verhältnifs, welches sich auch in der Formel (2) oben S. 484 deutlich ausspricht, in welche δ in der nämlichen Weise eingeht, wie σ.

Hierauf läfst es sich deuten, dafs mit Wasser getränkte Seide keine innere Polarisation giebt, während Baumwolle, Hanf, sogar Horn und Fischbein dergleichen zeigen; dafs Hydrophan, der aus amorpher Kieselsäure besteht, wirksam ist im Gegensatz zum fein zerriebenen und geschlemmten Quarzsand, welcher krystallisirte Kieselsäure ist: wie denn von der Kohle und dem schwarzen Schwefelquecksilber im Gegensatz zu Diamant und Zinnober bekannt ist, dafs erstere leiten, letztere nicht.[1] Möglicherweise beruht die gröfsere Wirksamkeit des Töpferlehmes im Vergleich zum Bildhauerthon, des Rüdersdorfer Kalksteines zur Kreide, auf der Gegenwart des Eisenoxydhydrates, dem sie ihre Färbung verdanken, während die beim Erhärten des Gypsbreies sich einstellende innere Polarisirbarkeit auf Zunahme des schwefelsauren Kalkes an Leitungsfähigkeit in Folge der Aufnahme von Wasser gedeutet werden kann, welches überdies aufhört, in den Hohlräumen zwischen den Gypsmolekeln als schwächende Nebenschliefsung zu wirken.

Im Laufe der obigen Versuche wurde mehrmals bemerkt, dafs von zwei mit demselben Elektrolyten getränkten innerlich polarisirbaren Körpern derjenige die stärkere secundär-elektromotorische Wirkung gab, die zugleich den gröfseren Widerstand zeigte. So war bei Sandstein, Trachyt und Bimsstein die Ablenkung am Vertical-Galvanoskop fast unmerklich, der Ausschlag wegen innerer Polarisation aber führte die Nadel mit Heftigkeit an die Hemmung; bei der Kreide dagegen betrug jene Ablenkung über 20°, und der Ausschlag wegen innerer Polarisation unter denselben Umständen nur etwa 30°.

Es ist klar, dafs dies nicht so aufgefafst werden kann, als leite die Substanz desjenigen Körpers besser, der den geringeren Widerstand

[1] Riess, Die Lehre von der Reibungselektricität. Berlin 1853. Bd. I. S. 37. §. 30.* — Doch kommt auch das Entgegengesetzte vor, nämlich nach Riess bei Schwefelantimon (S. ebendas. S. 364. §. 384*), und nach Hittorff bei Selen (Poggendorff's Annalen u. s. w. 1851. Bd. LXXXIV. S. 218.*)

Digitized by Google

darbot, denn wie wir eben sahen, müfste derselbe dann auch stärker innerlich polarisirbar sein. Dagegen liegt es nahe, sich zu denken, dafs in dem besser leitenden Körper der Elektrolyt im Verhältnifs zur Substanz des Körpers selber einen gröfseren Raum einnimmt, und deshalb erstens die innere Polarisation durch Nebenschliefsung stärker geschwächt wird als in dem schlechter leitenden Körper, zweitens auch weniger halbleitende Zwischenplatten auf der Bahn des Stromes liegen, wodurch zwar die Leitung verbessert, die Summe der elektromotorischen Kräfte aber verkleinert wird. Doch bewährt sich diese Anschauung wenigstens für Kreide und Bimsstein nicht. Von diesen müfste die Kreide, welche bei besserer Leitung minder stark secundär-elektromotorisch wirkt, also die gröfseren Hohlräume enthalten. Dies widerspricht nicht nur dem Augenschein, sondern auch der Thatsache, dafs das Verhältnifs der Dichten von Kalkspath und Kreide der Einheit näher steht als das der Dichten von Bimssteinpulver und Bimsstein. Auch habe ich mich unmittelbar überzeugt, dafs von zwei gleichen Parallelepipedis Kreide und Bimsstein letzteres die gröfsere Wassermenge aufnahm.[1]

[1] Die Dichte des kohlensauren Kalkes beträgt höchstens (als Marmor) 2.8, die der Kreide 1.8—2.6, die Dichte des Bimssteinpulvers beträgt 2.15—2.20, die des (schwimmenden) Bimssteines ist natürlich < 1.

Ich schnitt aus Kreide und Bimsstein zwei gleiche Parallelepipeda, von 27 mm Länge und 22 mm Seite des quadratischen Querschnittes, also 13 Cubikcentimeter Inhalt. Lufttrocken wogen sie:

Kreide 18.013
Bimsstein 8.406 gr.

Nach dreiviertelstündigem Kochen in destillirtem Wasser, wobei der Bimsstein schliefslich untersank, wogen sie ungefähr (die Verdampfung verhinderte genaues Wägen):

Kreide 23.520
Bimsstein 14.399 gr.

Nach längerer Zeit wieder lufttrocken geworden, wogen die Stücke nur noch:

Kreide 17.868
Bimsstein 8.289 gr,

weil sich beim Kochen Theilchen abgelöst hatten. Es hatte also bei gleichem Volum aufgenommen:

Kreide 5.652
Bimsstein 6.110 gr

Wasser, der Bimsstein also mehr als die Kreide

Wasser 0.458 gr.

Der Unterschied ist klein, da er aber zu Gunsten der Hohlräume im Bimsstein ausfällt, genügt er, um zu zeigen, dafs nicht geringere Porosität des Bimssteins den Grund seiner stärkeren Polarisirbarkeit enthält.

Das aus obigen Zahlen mit Vernachlässigung des im lufttrocknen Zustande zu-

Digitized by Google

Eine andere Art, das angegebene Verhalten zu erklären, würde sein, dasselbe von der inneren Polarisation selber herzuleiten. Die stärker innerlich polarisirbaren Körper würden deshalb schlechter zu leiten scheinen, weil sie durch Polarisation den ursprünglichen Strom schwächen. Allein die innere Polarisation ist schwächer, als dafs man ihr solche Wirkung zuschreiben dürfte, und somit bleibt hier eine Dunkelheit zurück.

Ganz dunkel bleibt auch der Fall der mit Kalihydratlösung getränkten Kreide, welche starke innere Polarisation zeigt (S. oben S. 432). Noch eine Anzahl anderer Fälle aus dem Kreise der obigen Erfahrungen bietet ähnliche Schwierigkeiten dar, und es ist wohl keine Frage, dafs man bei fortgesetzten Versuchen hier noch auf manches Räthsel stofsen würde. Jedoch ist nicht zu vergessen, dafs aufser den bereits angedeuteten Hülfsmitteln der Theorie zur Erklärung derartiger Abweichungen — verschiedener Widerstand des Elektrolyten und des porösen Halbleiters, und verschiedene räumliche Anordnung beider — noch ein Umstand in Betracht kommt, den wir bisher absichtlich aufser Spiel gelassen haben, der aber möglicherweise einen sehr bedeutenden Einfluſs ausübt. Dies ist die mit verschiedenen Stoffen vielleicht, ja unzweifelhaft, verschiedene elektromotorische Kraft der secundären Kette: Halbleiter, Anion, Elektrolyt, Kation, Halbleiter, auf deren Erzeugung durch den ursprünglichen Strom die innere Polarisation beruht. Es mögen zwischen den Halbleitern selber in Bezug auf ihre Polarisationsfähigkeit Unterschiede stattfinden wie zwischen den Metallen (Vgl. oben Bd. I. S. 237), und auch die verschiedenen Elektrolyten mögen mit dem nämlichen Halbleiter mehr oder weniger günstig wirken.

Dafs das Verhalten der inneren Polarisation bei erhöhter Temperatur dem entspricht, was man nach der hier entwickelten Vorstellung erwarten dürfte, brauche ich kaum zu erwähnen. Die Polarisation erschien bei der Siedhitze schwächer, bestand jedoch beim Thonschiefer und der Hanfschnur noch fort, ganz in Uebereinstimmung mit den Erfahrungen von Beetz an metallischen Elektroden.[1]

Alles in Allem schliefst sich die entwickelte Theorie den Thatsachen hinreichend an, um für die wahre gelten zu können. Zu bemerken ist aber noch, dafs die Art, wie in dieser Theorie die Leitung des Stromes in den feuchten porösen Halbleitern zum ersten Mal von mir

rückgebliebenen Wassers berechnete specifische Gewicht der Substanz des Bimssteins beträgt nur 1.19, was schlecht zu den obigen aus den gangbaren Lehrbüchern geschöpften Angaben pafst.

[1] Poggendorff's Annalen u. s. w. 1850. Bd. LXXIX. S. 109.*

Digitized by Google

aufgefafst ist, überhaupt die richtigere sein dürfte, und geeignet scheint, einen Anhalt zu bieten zur besseren Beurtheilung der auffallenden elektromotorischen Erscheinungen, die uns die Haut des Menschen gezeigt hat, der Ströme wegen ungleichzeitiger Benetzung (S. oben S. 218), der Temperaturströme (S. oben S. 206), der Ströme beim Andrücken von Bäuschen (S. oben S. 222. 268. 322—331), die alle ihr Entsprechendes bei den Metallen haben. Auch die Nobili'schen Thonthermoströme, und die oben S. 471. 472 beschriebenen Thermoströme an Fliefspapierbäuschen dürften aus demselben Gesichtspunkte zu betrachten sein, d. h. nicht als Thermoströme der Elektrolyte, sondern als solche der metallisch, nicht elektrolytisch leitenden Halbleiter, die mit den Elektrolyten getränkt sind. Dies ist deshalb wahrscheinlich, weil nach Nobili nur mit Thon, nicht mit Kalk, Baryt und Gyps diese scheinbaren Hydrothermoströme erhalten werden, während der Elektrolyt beliebig Wasser, Säure oder Salzlösung sein kann, ohne dafs der Strom aufhört, in derselben Richtung zu erscheinen (S. oben S. 201).

(XV) Anwendungen der Lehre von der inneren Polarisation.

Es ist ein bemerkenswerthes Zusammentreffen, dafs die Bedingungen der inneren Polarisation einigermafsen dieselben sind, wie die der von Porret entdeckten, von Wiedemann genauer untersuchten Fortführung der Flüssigkeiten durch den Strom.[1] Gleich der inneren Polarisation findet diese Fortführung um so stärker statt, je schlechter der Elektrolyt leitet. Unstreitig wird in vielen Fällen, in denen Fortführung sich kundgiebt, auch innere Polarisation der porösen Scheidewand stattfinden. Doch ist noch nicht beobachtet, dafs der eigenthümliche Widerstand der porösen Scheidewand die Fortführung beeinflufst, und die gleiche Abhängigkeit vom Widerstand der Flüssigkeit mag somit bedeutungslos sein.

Die innere Polarisirbarkeit der feuchten Gesteine, der Thon-, Lehm- und Mergelschichten wird vielleicht nicht aufser Acht gelassen werden dürfen bei Betrachtung der Verbreitung von Strömen im Erdreich.

Wenn ein Baum vom Blitze getroffen wurde, und man könnte ihn, was leider nie gelingen wird, gleich darauf am Multiplicator untersuchen, so würde man ihn innerlich polarisirt finden in der umgekehrten Richtung des Blitzschlages, dessen Sinn man so erführe. Wäre die von Charles Martins aufgestellte Theorie des Zerschlitzens der Baum-

[1] Poggendorff's Annalen u. s. w. 1852. Bd. LXXXVII. S. 348.*

Digitized by Google

stämme durch Tromben richtig,[1] so müfsten auch die Latten, in welche das Holz der davon betroffenen Stämme gespalten wird, secundär-elektromotorisch wirken; die Polarisation würde einen Schluſs auf die Richtung der elektrischen Entladung gestatten.

Natürlich ist auch dieser Versuch nicht anstellbar. Uns geht, wie kaum gesagt zu werden braucht, die innere Polarisation zunächst insofern an, als sie fortan bei elektrophysiologischen Versuchen in Betracht kommt. Die innere Polarisation der Bäusche, sofern sie nicht mit Kochsalzlösung getränkt sind (S. oben S. 409), die der Eiweifshäutchen tritt zur Polarisation der metallischen Elektroden hinzu. Obschon dieser Umstand nicht von groſser Bedeutung sein kann, verdient er doch Berücksichtigung. Jetzt wäre es an der Zeit, zu den secundär-elektromotorischen Erscheinungen der Muskeln und Nerven zurückzukehren, die sich als deren innere Polarisation darstellen, und für deren Erforschung die Kenntnifs der Polarisation an der Grenze zweier Elektrolyte und die innere Polarisation feuchter poröser Körper die unentbehrliche Grundlage bildet. Leider sind wir mit den Vorbereitungen zu jener Erforschung noch immer nicht zu Ende. Ehe wir dazu schreiten, müssen wir erst noch die neue Verwickelung ergründen, welche aus der oben S. 456—459 aufgedeckten Erscheinung des secundären Widerstandes hervorgeht.

[1] Annuaire météorologique de la France par MM. Harghens, Bévigny et Ch. Martins. Année 1848. p. 233;* — Poggendorff's Annalen u. s. w. 1850. Bd. LXXXI. S. 453;* — P. Riess, Die Lehre von der Reibungselektricität. 1853. Bd. II. S. 545. §. 1071. S. 568 §. 1084.* — Vgl. Gad, Beobachtungen über die Wirkungen einer Windhose. Archiv für Physiologie. 1881. S. 412.*

Schluſs der 'Untersuchungen über thierische Elektricität'.

Digitized by Google

Nachwort.

Soweit war ich vor mehr als fünfundzwanzig Jahren in der Ausarbeitung dieser Untersuchungen gekommen, als für die Mittheilung meiner Ergebnisse in der bisherigen Gestalt, d. h. im geschlossenen Rahmen eines einheitlichen Werkes, Schwierigkeiten entstanden, welche sich mit der Zeit als unüberwindlich erwiesen, und der Vollendung des Buches nach dem ursprünglichen, in der Vorrede vom März 1848 (Bd. I. S. L—LIV) angezeigten Plan eine Schranke setzten. Nicht blofs hielt die Erforschung des secundären Widerstandes, auf den ich bei den Versuchen über die innere Polarisation der feuchten porösen Leiter erst ganz zuletzt gestofsen war, mich lange auf, sondern damals vollzog sich auch eine folgenreiche Wandlung in meinen Versuchsweisen.

Die schon im Vorigen gelegentlich zu Hülfe genommene Bussole mit Spiegelablesung verdrängte bald gänzlich den bis dahin angewendeten Multiplicator mit Doppelnadel. Die Platinelektroden in Kochsalzlösung wichen den unpolarisirbaren Elektroden aus verquicktem Zink in Zinksulphatlösung, die Eiweifshäutchen Schilden aus dem mit physiologischer Kochsalzlösung angekneteten Bildhauerthon. Die unpolarisirbaren Zuleitungsröhren mit Thonspitzen ermöglichten die Ableitung der thierisch-elektrischen Ströme von viel beschränkteren Stellen und eine viel genauere Bestimmung der Vertheilung der Spannungen an der Oberfläche der thierischen Elektromotore als zuvor, während sie andererseits erlaubten den thierischen Theilen elektrische Ströme zum Zweck der Reizung oder Elektrotonisirung in viel tadelfreierer Art zuzuführen. Die früher so gefürchteten Ungleichartigkeiten der metallischen Multiplicatorenden, im Kampfe mit denen ich so manchen Tag verloren hatte, büfsten ihre Schrecken ein. Was davon beim verquickten Zink in Zinklösung noch übrig blieb, wurde mittelst eines vom Nebenschliefsdraht einer beständigen Kette abgeleiteten Stromzweiges unschädlich gemacht. Poggendorff's Compensationsmethode zur Messung elektromotorischer Kräfte erhielt eine Gestalt, wobei diese Kräfte wie das Zeug

Digitized by Google

an der Elle gemessen werden. So trat sichere relative und absolute Messung elektromotorischer Kräfte an Stelle der früheren rohen Schätzung von Stromstärken. Durch die Erfindung der aperiodischen Bussole wurde nicht nur die Anstellung aller galvanometrischen Versuche in einer Weise erleichtert, welche aufserhalb des elektrophysiologischen Laboratoriums noch durchaus nicht gehörige Würdigung fand, es wurde auch die Beantwortung mancher Fragen dadurch überhaupt erst möglich. Ich spreche nicht von den Vortheilen, welche gewisse Hülfsvorrichtungen, wie Stromschlüssel, Rheochord u. d. m. fortan gewährten.

Solcher Verbesserung der Versuchsweisen entsprang die Verpflichtung, die früheren Ergebnisse erneuter Prüfung zu unterwerfen. Bei der Unvollkommenheit der älteren Verfahrungsarten, der Schwierigkeit ihrer Handhabung, wäre es wohl zu entschuldigen gewesen, wenn diese Musterung Fehler aufgedeckt hätte, doch war dies kaum der Fall. Dagegen liegt es in der Natur der Dinge, dafs eine Fülle neuer Beziehungen zum Vorschein kam.

Vor Allem wurden die bisher unverstandenen Wirkungen am Gastroknemius und Extensor cruris des Frosches auf die von mir sogenannten Neigungsströme zurückgeführt, und die Lehre vom Gesetze des Muskelstromes dadurch wesentlich vervollständigt. Damit hing zusammen eine bessere Einsicht in den Bau jener so häufig angewendeten Muskeln. Die Erscheinungsweise des Muskel- und Nervenstromes, ihr zeitlicher Verlauf, stellten sich ganz anders dar. Die scheinbare und wirkliche postmortale Erhöhung der Muskelstromkraft; die Wirkung körperlicher Nebenschliefsung auf den Gastroknemiusstrom, die Vergleichung der Muskel- und Nervenstromkraft mit der von allerlei Flüssigkeitsketten, von denen erst ein kleiner Theil die Elektriker beschäftigt hatte; das Verhalten des Muskel- und Nervenstromes bei Ableitung mittelst unmittelbar angelegter metallischer Elektroden; die Erweiterung des Begriffes der parelektronomischen Schicht zu dem einer solchen Strecke; der zeitliche Verlauf der Elektrotonusströme; die genauere Untersuchung des Einflusses gewaltsamer Formveränderungen auf den Muskelstrom, und seiner negativen Schwankung im Tetanus sowohl wie bei Einzelzuckungen, bei Ableitung sowohl vom natürlichen wie vom künstlichen Querschnitt; die Unterscheidung der inneren und der terminalen Nachwirkung des Tetanus, und die Beziehung letzterer zur Parelektronomie; die Lehre von der Säuerung des Muskels im Tod und bei der Zusammenziehung: alle diese und noch eine Menge anderer Thatsachen und Einsichten drängten sich zwischen die älteren Ergebnisse und jeden weiteren Fortschritt ein, und um ihn darzulegen, mufste man die veränderten Versuchsweisen, die neuen Ergebnisse als bekannt voraussetzen können.

Digitized by Google

Die Schwierigkeit, welche sich hieraus für Durchführung meines ursprünglichen Planes ergab, wuchs noch durch den an sich glücklichen Umstand, dafs die allgemeine Muskel- und Nervenphysik, auf deren Gebiet ich am Anfang der vierziger Jahre fast allein stand, mittlerweile theils in meinem Gefolge, theils unabhängig von mir, eine grofse Anzahl von Bearbeitern fand. Ich brauche nur die Namen Eduard Weber und Helmholtz zu nennen, um das Bild der Fortschritte zu erwecken, welche dieser Theil der Physiologie kurz vor und nach dem Erscheinen der 'Untersuchungen' machte. Ch. Aeby, J. Bernstein, A. v. Bezold, C. Eckhard, W. Engelmann, Ad. Fick, Em. Harless, R. Heidenhain, W. Kühne, G. Meissner, H. Munk, Ed. Pflüger, H. Roeber, I. Rosenthal und noch viele Andere betraten in dichtgedrängter Folge dies lange unbebaute Feld, und eine förmliche kleine Disciplin, zu deren Darstellung kaum ein tüchtiger Band reichte, entstand da, wo es zur Zeit meiner Vorrede noch so wenig und so vereinzelte Thatsachen gab, dafs ich damit mein neuntes Kapitel zu füllen gedachte. Hiervon konnte die Rede nicht mehr sein. Indem aber jene Arbeiten auf das Mannigfachste mit den meinigen sich ergänzten und in sie eingriffen, auch wohl meine Kritik herausforderten, trugen sie nicht wenig dazu bei, die weitere Mittheilung meiner eigenen Ergebnisse in der organischen planmäfsigen Form eines Buches zu erschweren.

Ich schweige von den aufserordentlichen Fortschritten, welche seit dem Erscheinen der ersten Abschnitte dieses Werkes die Lehre vom feineren Bau der Muskeln und Nerven, und der Nervenendigung in den Muskeln machte. Besondere Erwähnung verdient aber noch die theoretische Untersuchung, durch welche Helmholtz die von mir mit unzulänglichen Mitteln versuchte Zurückführung der elektromotorischen Erscheinungen an der Oberfläche der Muskeln und Nerven auf innere Kräfte richtiger vorzunehmen lehrte, da sich dann ergab, dafs die mühsamen Erörterungen des dritten Kapitels der Umarbeitung bedurften, und dafs die dort gezogenen Schlüsse in Ansehung der schwachen Ströme des Längs- und Querschnittes, der gröfseren Kraft längerer und dickerer Muskeln und Nerven, der Nichtanwendbarkeit der Compensationsmethode auf die thierischen Elektromotore trüglich waren.

Vollends unausführbar wurde mein Versprechen, im zehnten Kapitel die Lehre von den elektrischen Fischen abzuhandeln, nachdem ich selber von 1857 ab, durch Goodsir's und Bence Jones' Güte, wiederholt in den Besitz lebender Zitterwelse gelangt war.

Auch die erst später, grofsentheils von Anderen aufgefundenen, und dem ursprünglichen Plane fremden Drüsen- und Pflanzenströme hätten jetzt noch herangezogen werden müssen, um für die dem vierten Ab-

Digitized by Google

schnitt vorbehaltenen theoretischen Betrachtungen die Grundlage zu vervollständigen.

Zu dem Allem kam, dafs seit 1851 meine Stellung als Mitglied der Akademie der Wissenschaften mir die Verpflichtung regelmäfsig wiederkehrender Mittheilungen auferlegte, und damit, bei Fortsetzung des Buches, den mir persönlich sehr lästigen Zwang, dieselben Dinge zweimal in verschiedener Form vorzubringen. Endlich durch den Tod dessen, der mich einst auf die Schwelle dieser Studien stellte, meines Lehrers JOHANNES MÜLLER, 1858 zur Nachfolge auf den Lehrstuhl der Physiologie berufen, konnte ich auch nicht mehr, wie in der Jugend, mit ungetheiltem Streben diesen Arbeiten obliegen, und wenn ich mir dadurch Mittel zur Verfügung gestellt sah, an denen es mir sonst nicht selten gefehlt hatte, erfuhr ich jetzt leider, dafs im deutschen Gelehrtenleben das Product aus der Mufse in die Mittel ziemlich constant bleibt.

Mehrerer dieser Umstände habe ich schon einmal, in der Vorrede zu meinen 'Gesammelten Abhandlungen', kurz gedacht. Sie lassen es wohl hinlänglich gerechtfertigt erscheinen, dafs die Herausgabe der 'Untersuchungen' in's Stocken gerieth. Schwerer dürfte es mir werden, es zu verantworten, dafs ich gegenüber der augenfälligen Unmöglichkeit das Werk in der beabsichtigten Gestalt zu vollenden, so lange zögerte, es so zu sagen buchhändlerisch abzuschliefsen. Die Wahrheit ist, dafs ich noch immer und bis vor Kurzem hoffte, wenigstens die Lehre von den secundär-elektromotorischen Erscheinungen der Muskeln und Nerven in einigermafsen fertigem Zustande mittheilen zu können. Ich wurde aber, bei stets beschränkterer Mufse, von Jahr zu Jahr durch immer neue Zwischenfälle aufgehalten, wie unter anderen auch durch die mir zugefallene Bearbeitung des SACHS'schen Nachlasses, und mufste schliefslich auch jene Hoffnung aufgeben. Von mehreren Seiten her näherte sich die Forschung diesem von mir unter so grofsen Mühen urbar gemachten Felde, und ich sah mich genöthigt, mit meinen Thatsachen zum Theil in noch sehr unreifer Gestalt hervorzutreten, wollte ich nicht Gefahr laufen, die persönliche Frucht jahrzehndelanger Arbeit einzubüfsen. Andererseits konnte ich, je länger ich mich mit dem Gegenstande beschäftigte, mir um so weniger verhehlen, dafs zu einem wahren Abschlufs hier in absehbarer Frist doch nicht zu gelangen sei, dafs dazu fast ein neues Forscherleben gehöre. So entschlofs ich mich denn zuletzt mit schwerem Herzen, ein Ende da zu machen, wo ich, wie gesagt, dies schon vor einem Vierteljahrhundert fast ebenso gut gekonnt hätte. So lange etwa liegen in der That die vier ersten der jetzt ausgegebenen Bogen (25—28) schon gedruckt. Diese 'Untersuchungen' bleiben ein Torso, oder vielmehr ein *Monstrum per defectum*, und da bei den heutigen

Digitized by Google

wissenschaftlichen Zuständen, die sich in dieser Beziehung schwerlich wieder ändern werden, kein junger Forscher mehr den Plan eines solchen Werkes fassen dürfte, kann dies formale Scheitern meines Unternehmens nicht einmal den Nutzen bringen, Andere vor ähnlichem Wagnifs zu warnen.

Bei der langen Zeit, welche seit dem Druck eines Theiles des hier Veröffentlichten verfloſs, entspricht dessen Inhalt nicht durchweg den heutigen Einsichten, und auch in den neuerlich gedruckten Bogen mufste ich denselben Standpunkt festhalten, wollte ich mich nicht gerade in alle die Schwierigkeiten begeben, welche die Fortsetzung des Buches gehemmt hatten. Beispielsweise geschieht die Ableitung der Polarisationsströme noch mit Platin in Kochsalzlösung, es ist noch die Rede von den längst abgeschafften Eiweifshäutchen u. d. m. Glücklicherweise ergiebt sich daraus kein besonderer Nachtheil.

Ich mufs nun noch, um den literarischen Zusammenhang zu wahren, und denen die Übersicht zu erleichtern, die sich dafür interessiren sollten, das Verhältnifs der letzten Theile der 'Untersuchungen' zu meinen Veröffentlichungen über denselben Gegenstand in Gesellschafts- und Zeitschriften näher bezeichnen. Als bekannt darf ich voraussetzen, dafs ich 1875—77 'Gesammelte Abhandlungen zur allgemeinen Muskel- und Nervenphysik' (Zwei Bände, Leipzig, Verlag von Veit & Comp.) herausgab, welche dem Inhalte nach als Fortsetzung der 'Untersuchungen' anzusehen sind. Dies Sammelwerk erhält demgemäfs von meinen vereinzelten Veröffentlichungen nur die, deren Inhalt zur Zeit seines Erscheinens nicht schon den 'Untersuchungen' einverleibt war. Was von diesen Veröffentlichungen vor 1851 fällt, ist, sofern es der Mühe lohnte, in den 'Untersuchungen' gehörigen Ortes angeführt.

Nach jenem Zeitpunkt aber las ich in der Akademie mehrere Abhandlungen, welche in Kürze den Inhalt der Bogen 1—24 der vorliegenden zweiten Abtheilung wiedergeben. Da diese Bogen 1860, also fünfzehn Jahre vor dem Erscheinen der 'Gesammelten Abhandlungen' ausgegeben worden waren, blieben diese Abhandlungen, vier an der Zahl, aus der Sammlung fort. Aber auch in den 'Untersuchungen' sind sie nicht erwähnt, weil zur Zeit, wo ich sie in der Akademie las, die Bogen 1—24 grofsentheils schon gedruckt, wenn auch nicht ausgegeben waren. Man findet die vier Abhandlungen an den unten angegebenen Stellen.[1]

Auf dieselben liefs ich in den Monatsberichten der Akademie, in

[1] Monatsberichte u. s. w. 1851. S. 380 ff.; — 1852. S. 111 ff.; — 1853. S. 76 ff.; — 1854. S. 288. — Auch in Moleschott's Untersuchungen zur Naturlehre des

Digitized by Google

den Jahren 1856—59, drei die Polarisation an der Grenze ungleichartiger Elektrolyte und die innere Polarisation feuchter poröser Leiter betreffende Aufsätze folgen. Wie die vier ersterwähnten Abhandlungen zu den Bogen 1—24, so verhalten sich diese drei Aufsätze zu den jetzt erscheinenden Bogen 25—31: sie stellen die daselbst ausführlich mitgetheilte Untersuchung in gedrängter Kürze dar. Da zur Zeit der Herausgabe der 'Gesammelten Abhandlungen' von dieser ausführlichen Untersuchung erst die Bogen 25—28 gedruckt waren, und deren Fortsetzung nicht in sicherer Nähe bevorstand, wurden die drei Aufsätze in die Sammlung aufgenommen, deren erste Nummern sie bilden. Sie sind die einzigen Stücke darin, über welche anderswo, nämlich jetzt in diesem Buche, genauere Auskunft zu finden ist. Ihnen schliefst sich dem Inhalte nach die Untersuchung über den secundären Widerstand vom Jahre 1859 (No. V der 'Gesammelten Abhandlungen') an, und dieser wieder die erst unlängst (1883) erschienene gröfsere Arbeit 'Über die secundärelektromotorischen Erscheinungen an Muskeln, Nerven und elektrischen Organen' in den neuen Sitzungsberichten der Akademie.[1]

Die 'Gesammelten Abhandlungen' enthalten ferner die ausführliche Darstellung aller in diesem Nachwort angedeuteten neuen Vorrichtungen und Versuchsweisen, sowie der damit gewonnenen Ergebnisse: sowohl derer, welche die wiederholte Durchforschung des alten Gebietes lieferte, wie auch solcher, die über den Rahmen der 'Untersuchungen' hinausgehen. Das Inhaltsverzeichnifs der 'Abhandlungen' ist eine vollständige Liste meiner von 1856 bis 1877 über thierische Elektricität und verwandte Gegenstände veröffentlichten Arbeiten. An diejenigen dieser Arbeiten, die sich auf die elektrischen Fische beziehen, knüpfen die in meinem Buche: Dr. Carl Sachs' Untersuchungen am Zitteraal, Gymnotus electricus, nach seinem Tode bearbeitet u. s. w. Leipzig, Verlag von Veit & Comp. 1881, niedergelegten Forschungen an, welche in Prof. Fritsch's anatomisch-zoologischen Studien über die Zitterfische und in meinen neuesten Versuchen an lebenden Zitterrochen in Berlin,[2] weitere Ausläufer getrieben haben.

Hier folgen noch einige Nachträge, sofern sie literarisch sind, ist

Menschen und der Thiere, 1857. Bd. II. S. 137 ff.; — S. 247 ff.; — Bd. III. S. 125 ff.; 1858. Bd. IV. S. 1 ff.

[1] A. a. O. S. 343 ff.; — auch im Archiv für Physiologie. 1884. S. 1 ff.

[2] Vorläufiger Bericht über die von Professor Gustav Fritsch in Aegypten angestellten neuen Untersuchungen an elektrischen Fischen. Monatsberichte u. s. w. 1881. S. 1149 ff.; — Vorläufiger Bericht über die von Prof. Gustav Fritsch in Aegypten und am Mittelmeer angestellten neuen Untersuchungen u. s. w. Zweite Hälfte. Sitzungsberichte u. s. w. 1882. S. 477; — Archiv für Physiologie. 1882

Digitized by Google

dabei in der Regel der Grundsatz festgehalten, nur die ältere Literatur zu vervollständigen, da es die Absicht nicht sein konnte, die seitdem so mächtig angewachsene Literatur der allgemeinen Muskel- und Nervenphysik an dieser Stelle zu erschöpfen.

Das sehr in's Einzelne gehende Sach- und Namenregister endlich wird, wie ich hoffe, dazu dienen, das ansehnliche in diesem Buche verarbeitete Material zur Geschichte der Wissenschaft aufzuschliefsen und nutzbarer zu machen als bisher.

S. 61. 387; — On a new Principle affecting the systematic Distribution of the Torpedinidae, and on the probable occurrence of the T. occidentalis (Storer) on the British Coast. Report of the fifty-second Meeting of the British Association etc. held at Southampton in August 1882. p. 592; — Lebende Zitterrochen in Berlin. Sitzungsberichte u. s. w. 1884. S. 181.

Berlin, vom physiologischen Institut der Universität, im März 1884.

Digitized by Google

Nachträge.

I. Zum ersten Bande.

1. (Vorrede, S. XXVI.) Eine der hier angestellten sehr ähnliche Betrachtung über Darstellung beliebiger Abhängigkeiten durch Curven findet sich bei PÉCLET, *Traité élémentaire de Physique.* Paris et Alger 1847. Introduction. p. ij.* — Ich hätte darauf hinweisen sollen, dafs schon QUETELET in seinem Werke: *Sur l'Homme et le développement de ses facultés ou Essai de Physique sociale* etc. (Bruxelles 1836)* lehrreiche Beispiele davon gegeben habe, wie die verwickeltesten Abhängigkeiten durch Curven darstellbar seien, beispielsweise die Abhängigkeit der Neigung zum Verbrechen und die des literarischen Talentes vom Lebensalter. Auch verdiente hervorgehoben zu werden, dafs schon ein Jahr früher, als ich dergestalt die Methode der Curven in der Physiologie theoretisch empfahl, und in der That etwa zur selben Zeit, wo ich zuerst eine Abscissenaxe in einen Nerven legte, LUDWIG die autographische Aufzeichnung zeitlicher Vorgänge in den physiologischen Versuch einführte (MÜLLER's Archiv für Anatomie, Physiologie u. s. w. 1847. S. 242).* Seinem Kymographion folgte dann etwas später das Myographion von HELMHOLTZ (ebenda, 1852. S. 199)* und so erhielten die, physikalischer Betrachtung zugänglichen Theile der Physiologie damals von mehreren Seiten her ihre neue Gestalt.

2. (Vorrede, S. XXXIV.) Unter denen, welche sich gegen die Lehre von der Lebenskraft erhoben, hätte BERZELIUS aufgeführt werden sollen. Man sehe seine lichtvolle Auseinandersetzung in POGGENDORFF's Annalen u. s. w. 1839. Bd. XLVII. S. 290.*

3. (Vorrede, S. LV.) Das Verfahren, selbstnachgesehene Citate mit einem Sternchen zu bezeichnen, ist von versehiedenen Autoren, zuletzt meines Wissens von PETER RIESS geübt worden, dem ich darin folgte. Da ich aber, wie übrigens auch RIESS selber, kaum je in den Fall kam, das Sternchen fortzulassen, so wäre es zweckmäfsiger gewesen, die Bezeichnung für die nicht selbstnachgesehenen Citate aufzubewahren. Nachdem einmal in der anderen Art angefangen war, musste der Consequenz halber bis in diese Nachträge darin fortgefahren werden.

Digitized by Google

4. (S. 8.) Über das angebliche Leuchten der Blumen s. noch: Briefwechsel zwischen Schiller und Goethe in den Jahren 1794 bis 1805. Stuttgart und Tübingen 1829. 5. Theil. S. 79. 80 (Brief von Goethe vom 19. Juny 1799).*

5. (S. 9.) P. Riess hat vergeblich versucht, Elektricitätsentwickelung durch den Vegetationsprocess zu beobachten. Poggendorff's Annalen u. s. w. 1846. Bd. LXIX. S. 288;* — *Archives des Sciences physiques et naturelles.* t. III. p. 392.*

6. (S. 11.) Über elektrische Erscheinungen am menschlichen Körper vergl. ferner das 7. Kapitel: *De Electricitate naturali Corporis humani,* von Jos. Lud. Roger's Abhandlung über das Muskelgeräusch: *Specimen physiologicum de perpetua fibrarum muscularium palpitatione* etc. Gottingae 1760. 12mo.* — Über angebliche freiwillige Elektrisirung aufgeregter Thiere (Raubvögel, Katzen) s. Achard in Lorenz Crell's Chemischen Annalen 1787. Bd. I. S. 243.* — Eine ähnliche absurde Nachricht vom Menschen theilte Hoffmann noch mit in der Medicinischen Zeitung, herausgegeben von dem Verein für Heilkunde in Preussen. Berlin 1849. 18. Jahrgang. No. 73. S. 54.*

7. (S. 11.) Über die Elektricität der Haare s. Haller, *Elementa Physiologiae Corporis humani* 4°. vol. V. Lausannae 1763. p. 44. 54;* — J. G. Kniphof, Von den Haaren, deren Beschreibung, Nutzen, Zufällen und Mitteln dagegen. Rotenburg an der Fulda 1777. S. 24; — Burkard Eble, Die Lehre von den Haaren in der ganzen organischen Natur. Wien 1831. Bd. II. S. 4. 161. 163. 165.*

8. (S. 21.) Über die elektrische Dame zu Orford vergl. P. Riess in Dove's Repertorium der Physik. Eine Zusammenstellung der neueren Fortschritte dieser Wissenschaft. Bd. V. Berlin 1842. S. 296;* — wie auch Loomis, Über einige elektrische Erscheinungen in den Vereinigten Staaten, in Poggendorff's Annalen u. s. w. 1857. Bd. C. S. 599.* — Eine abgeschmackte Geschichte von einem elektrischen (neugebornen) Kinde brachte nach dem *Libéral du Nord* die *London Medical Gazette* vol. XX (vol. II for the Session 1836—37). 1837. p. 176.*

9. (S. 22.) Zur Geschichte der Angélique Cottin vergl. die Fortschritte der Physik im Jahre 1846, dargestellt von der physikalischen Gesellschaft zu Berlin. II. Jahrgang. Berlin 1848. S. 474.

10. (S. 23.) Die Abstofsung von Spinnen, welche am frischgesponnenen Faden hängen, durch eine geriebene Siegellackstange habe ich selber beobachtet.

11. (S. 26.) Über angebliche elektrische Wirkungen von Insecten

Digitized by Google

u. s. w. s. noch TREVIRANUS, die Erscheinungen und Gesetze des organischen Lebens. Bremen 1831. Bd. I. S. 448.*

12. (S. **31** Anm. 1.) ALIBERT's *Éloge* GALVANI's ist in's Italiänische übersetzt unter dem Titel: *Elogio storico di* LUIGI GALVANI *composto da* G. L. ALIBERT ec. *Traduzione del Francese.* In Bologna. A S. Tommaso d'Aquino. 1802.* Ich weifs nicht woher ich habe, dafs die Übersetzung von Monsignor ALFONSO BONFIOLI MALVEZZI herrührt. — Darstellungen der Geschichte des Galvanismus finden sich noch in: AUGUST SEEBECK, Gedächtnifsrede auf A. VOLTA. Dresden und Leipzig. 1846;* — O. E. J. SEYFFER, Geschichtliche Darstellung des Galvanismus. Stuttgart und Tübingen 1848;* — GAVARRET, *Étude sur les Recherches électro-physiologiques de* GALVANI, in den *Annales de Chimie et de Physique.* Janvier 1849. 3me Série. t. XXV. p. 58.* — Vergl. indefs meine Kritik von GAVARRET's Studie in den Fortschritten der Physik in den Jahren 1850 und 1851 u. s. w. Berlin 1855. S. 732—734.

13. (S. **32**.) Es verdient bemerkt zu werden, dafs GALVANI schon 1767, also lange vor seinen Arbeiten über thierische Elektricität, in einer Festrede: *De Renibus atque Ureteribus Volatilium* (p. 15* der *Opere edite ed inedite* ec.) einen wichtigen Versuch über die Absonderung der Harnsäure in der Vogelniere beschrieben hatte, welcher JOH. MÜLLER nicht entgangen war (*De Glandularum secernentium Structura penitiori* etc. Lipsiae 1830. Fol. p. 2. 23*), und in neuerer Zeit von HOPPE-SEYLER und ZALESKY selbständig wiedergefunden und in seiner Bedeutung erkannt wurde (Vergl. meine „Geschichtliche Bemerkung" im Archiv für Anatomie, Physiologie u. s. w. 1865. S. 408).

14. (S. **32**.) Ein Exemplar des *Trattato dell' uso* ec. besitzt, wie ich später erfuhr, die Königliche Bibliothek.

15. (S. **34**.) Auf die Quelle, aus welcher KIRCHER seine (von LORENZINI angezweifelte) Nachricht schöpfte, hat FRANZ BOLL im Archiv für Anatomie, Physiologie u. s. w. 1874. S. 158* aufmerksam gemacht: *De Abassiniorum rebus deque Aethiopae patriarchis libri tres* P. NICOLAO GODIGNO *Societatis Jesu auctore nunc primum in lucem emissi.* Lugduni 1615. *Superiorum permissu.*

16. (S. **39**.) In der oben (Nachtrag 12.) erwähnten italiänischen Übersetzung von ALIBERT's *Éloge de* GALVANI ist auch das Sonnet auf den Antheil der Signora LUCIA GALVANI an der Entdeckung des Galvanismus abgedruckt, aber mit einer bemerkenswerthen Variante. Es heifst nämlich dort in der fünften Zeile statt: Quella, non *tu*, che ec.

Digitized by Google

Quella non *fu*, che novo ardor vitale
In rana ignuda a disvelar pur giunse,
Quand'una ed altra man con vanto eguale
Il conduttor metallo e i nervi punse?

Also statt: Sie war's, nicht Du, u. s. w., ungleich besser:

War Sie es nicht, die neue Lebenstriebe
In hautentblöfster Frösche Gliedern fand?

Offenbar ist die Lesart bei ALIBERT ein Druckfehler, oder durch Mifsverständnifs corrumpirt. Ich würde mir vorwerfen, diesen Fehler nicht durchschaut, und durch eine nah liegende Emendation den Text wiederhergestellt zu haben, hätte ich nicht bei Übersetzung des Sonnets einen vorzüglichen Kenner italiänischer Poësie, AUGUST KOPISCH, zu Rathe gezogen, ohne dafs ihm der Verdacht einer Verfälschung des Textes aufgestiegen wäre.

17. (S. 47 Anm. 2.) Zur Frage, ob GALVANI die Zuckungen beim Anlegen beider Metalle an den Nerven kannte, vergl. noch PFAFF, Über thierische Elektricität und Reizbarkeit. Leipzig 1795. S. 334 ff.*

18. (S. 57 Anm. 2). VOLTA's erste Arbeiten über GALVANI's Versuche wurden verdeutscht von dem Übersetzer des GALVANI'schen Commentars unter dem Titel: Schriften über die thierische Elektricität von D. AL. VOLTA u. s. w. Herausgegeben von D. JOH. MAYER. Prag 1793.*

19. (S. 69.) Von VALLI giebt es ein Buch in englischer Sprache, welches ich in der Bibliothek der Royal Institution zu London sah: *Experiments on Animal Electricity with their application to Physiology* etc. By EUSEBIUS VALLI. London 1793.*

20. (S. 76 ff.) HUMBOLDT's Werk ist auch in französischer Übersetzung erschienen: *Expériences sur le Galvanisme, et en général sur l'Irritation des fibres musculaires et nerveuses, de* FRÉDÉRIC ALEXANDRE HUMBOLDT (*sic*, ohne *de*); *Traduction de l'Allemand, publiée, avec des additions, par* J. FR. N. JADELOT, *Médecin*, Paris, An VII. — 1799.* Es ist wenig bekannt, dafs noch viel später, in zwei Briefen an MILNE EDWARDS, HUMBOLDT auf das Gebiet der galvanischen Reizversuche zurückgekehrt ist. Diese Briefe, vom Jahre 1826, finden sich in HUMBOLDT, *Correspondance scientifique et littéraire, recueillie, publiée et précédée d'une Notice et d'une Introduction par* M. DE LA ROQUETTE etc. Paris 1865. p. 252 et suiv.* — Vergl. hierzu die Notiz in meinem Buch über den Zitteraal (S. oben S. 503), S. 269. Anm. 3.

21. (S. 79.) FOWLER's Schrift heifst im Original: *Experiments and Observations relative to the Influence lately discovered by*

Digitized by Google

M. Galvani, *and commonly called Animal Electricity.* Edinburgh 1793.*

22. (S. 85.) Das von mir als Querschnitt des Nerven gedeutete Wort *boccuccia* kommt schon 1794 vor im *Supplemento al Trattato dell' uso* etc. *Opere edite ed inedite* ec. p. 282.*

23. (S. 93.) Von Aldini sind noch anzuführen: *Précis des Expériences galvaniques.* Paris 1803,* und: *Sul potere del solo arco animale nelle contrazioni musculari. Esperienze galvaniche* ec. in: *Memorie di Matematica et di Fisica della Società Italiana.* Verona 1809. t. XIV. p. I. p. 329.*

24. (S. 128.) Es war einst meine Absicht, das Verzeichnifs von Matteucci's elektrophysiologischen Arbeiten hier fortzusetzen. Bei der Gewohnheit dieses Schriftstellers dieselbe Beobachtung an vielen verschiedenen Stellen zu veröffentlichen, ohne zu sagen, dafs er Bekanntes wiederhole, oder ohne an der einen Stelle auf die andere sich zu beziehen, bei der hieraus entspringenden auf viele Hunderte sich belaufenden Zahl seiner Aufsätze und deren schlecht abgegrenztem Inhalt, fand ich aber trotz umfangreichen Vorarbeiten das Unternehmen ungleich zeitraubender und schwieriger, als dafs dessen Durchführung sich jetzt noch verlohnt hätte. Matteucci's Arbeiten sind nach allen Richtungen so überholt, dafs kaum noch Jemand das Bedürfnifs empfinden wird, sie im Original nachzusehen. Sollte dies dennoch der Fall sein, so genügen die literarischen Nachweise in den „Fortschritten der Physik", um zu allen wichtigeren Quellen zu gelangen. Dort findet man auch weitere Auskunft über einen vollends veralteten Gegenstand, der schon in diesem Buche viel zuviel Platz einnimmt, über die mir durch Matteucci aufgedrungene Polemik zur Wahrung meiner Erstenrechte. Carlo Matteucci, der eine so grofse Rolle in der Geschichte der thierischen Elektricität gespielt hat, war geboren zu Forli am 20. Juni 1811 und starb zu Florenz am 25. Juni 1868. Ein schönes Grabmal im Campo santo zu Pisa erhält sein Andenken auch bei Solchen, die nie von einer secundären Zuckung hörten.

25. (S. 136.) Über den Begriff der Stromdichte vergl. Poggendorff in seinen Annalen u. s. w. 1848. Bd. LXXIII. S. 352;* — das Repertorium der Physik u. s. w. Bd. VIII. Berlin 1849. S. 127.*

26. (S. 168.) Ich erfuhr 1850 von Ruhmkorff in Paris, dafs mit der Schwingung des von Matteucci und Longet angewendeten Nadelpaares, welche 70″ dauerte, eine Doppelschwingung gemeint war, so dafs nach unserer Redeweise die Nadel nur 35″ schlug.

27. (S. 253 Anm.) Crève's Schriften selber wurden mir erst

Digitized by Google

später zugänglich. Das gröfsere Werk „Vom Metallreize“ (1796) findet sich mehrfach benutzt in der 1. Abtheilung des zweiten Bandes (S. 106. 179. 181. 182); ein sachlich unbedeutender, geschichtlich nicht uninteressanter Vorläufer sind Crève's „Beiträge zu Galvani's Versuche *(sic)* über die Kräfte der thierischen Elektricität auf die Bewegung der Muskeln“ (Frankfurt und Leipzig 1793*).

28. (S. **259.**) Es hätte bemerkt werden sollen, dafs in dem Falle, wo positive und negative Schwankungen der Stromdichte gleich stark erregen, die Differential-Erregung $d\eta$ nicht blofs, wie im Texte steht, einer mit dem Argumente bis zu einer gewissen Grenze wachsenden Function des Differentialquotienten der Stromdichte nach der Zeit, also einer Gröfse

$$F\left(\frac{d\Delta}{dt}\right) dt,$$

sondern sogleich, und zwar im Gegensatze zur Differential-Induction (vergl. S. 301), einer solchen Function des Quadrates jenes Quotienten, also einer Gröfse

$$\Phi\left(\left(\frac{d\Delta}{dt}\right)^2\right) dt$$

proportional zu setzen sei.

29. (S. **310.**) Auch Pfaff's Dissertation fiel mir im Original erst später in die Hände. Ihr Titel lautet: Christophori Henrici Pfaff, Doct. Med. *Commentatio de Electricitate sic dicta animali.* Stuttgardiae, Typis acad. 1793*. — Pfaff war bekanntlich ein Carlsschüler (George Cuvier's Briefe an C. H. Pfaff u. s. w. Herausgegeben von Behn. Kiel 1845*).

30. (S. **427.**) Die von Marianini und mir bei Schliefsung der inducirten Spirale nach Öffnung des inducirenden Kreises beobachteten Ströme hat Helmholtz darauf zurückgeführt, dafs unsere Spiralen nicht hinlänglich gut isolirten (Poggendorff's Annalen u. s. w. 1851. Bd. LXXXIII. S. 534. 535*).

31. (S. **643** Anm.) Es verdient erhalten zu werden, dafs der hier beschriebene, im Laboratorium unentbehrliche Kitt von Jecquer in Paris herrührt. In Faraday's *Chemical Manipulation: being instructions to Students in Chemistry* etc. London 1829,* dieser Fundgrube nützlicher Kunstgriffe, ist er nicht erwähnt (S. daselbst p. 479).

Digitized by Google

II (1). Zu zweiten Bandes erster Abtheilung.

32. (S. 36.) Die älteste Erfahrung über elektrisches Tetanisiren fehlt hier, obgleich sie in anderem Sinne schon früher (Bd. I. S. 34 Anm.), und auch später (Bd. II. Abth. I. S. 411) Platz fand. Sie wurde 1756 von Marco Antonio Caldani und Fontana gemacht. Die Ischiadnerven von Fröschen waren 8 Pariser Linien lang frei präparirt, und durch einen Faden mit einem Messingdraht verbunden, der zum Conductor einer Elektrisirmaschine führte. „*Lorsque l'on commença à faire jouer la machine, et que la matiere électrique se mit en mouvement, les extremités inférieures se contracterent avec force, et elles resterent étendues pendant quelque tems. Quand on tiroit une étincelle du fil de laiton, les muscles se relachoient, mais ils se remettoient bientôt*". *Mémoires sur les parties sensibles et irritables du corps animal.* t. III. A Lausanne 1760. p. 146.* — Floriano Caldani wiederholt, ohne an seines Oheims Beobachtung zu erinnern, den Versuch 1794 in seinen *Osservazioni sulla membrana del Timpano e nuove Ricerche sull' Elettricità animale* (In Padova 1794. p. 77. 78*), und er gebraucht sogar den Ausdruck *un tetano de' piu violenti,* worin ihm aber Volta zuvorgekommen war.

33. (S. 109 Anm. und 111.) Über galvanische Reizversuche unter Öl s. auch Floriano Caldani in den soeben angeführten „*Osservazioni* ec." p. 153,* und Crève in den oben, Nachtrag 27, angeführten „Beiträgen u. s. w." S. 31. 65. 66. 80.* — Über die Leitung durch Terpenthinöl s. noch Faraday, *Experimental Researches* etc. *Reprinted* etc. Ser. XI. Nov. 1837. Al. 1172. vol. I. p. 365*. — Über die Leitung durch Brennöl Crève a. a. O. S. 28*; — durch wesentliche Öle und Fett Cruikshank in Gilbert's Annalen u. s. w. 1801. Bd. VII. S. 98;* — durch Baumöl P. Erman ebenda Bd. VIII. S. 206. 207;* — durch Talg und Öl, Poggendorff in seinen Annalen u. s. w. 1847. Bd. LXX. S. 64 Anm.* — Reibt man ein in Wasser lösliches Salz, beispielsweise Salmiak, mit Öl an (wie es zum Löthen geschieht), und wirft man einen Klumpen des Gemenges in ein Glas voll Wasser, so sieht man nach einiger Zeit den Klumpen in Gestalt eines nur noch mit wenigen Krystallen beschwerten Tropfens Öl an die Oberfläche des Wassers steigen, und vom Tropfen die Salzlösung in Schlieren herabsinken. (Brücke, *de diffusione humorum per septa mortua et viva.* Diss. inaug. Berolini 1842. p. 33.*) Danach erscheint es minder auffallend, dafs die secundäre Zuckung nicht ausbleibt, wenn das primär zuckende Präparat mit Öl bestrichen ist.

Digitized by Google

34. (S. **136.**) Bei Wiederholung von FONTANA's Versuch über das Verhalten von Kaltblüter-Herzen in verdichteter Luft beobachtete TIEDEMANN gerade den entgegengesetzten Erfolg, bei drei Atmosphären Druck Beschleunigung der Schlagfolge von 50 bis zu 62 Pulsationen in der Minute (MÜLLER's Archiv für Anatomie, Physiologie u. s. w. 1847. S. 497*).

35. (S. **181.**) Zur älteren Literatur über Vernichtung der Reizbarkeit durch elektrische Schläge wäre noch hinzuzufügen: Des Herrn BENJAMIN FRANKLINS Esq. Briefe von der Elektricität. Aus dem Engländischen übersetzet ... von WILCKE. Leipzig 1758. S. 199;* — MONRO in MONRO's und FOWLER's Abhandlung u. s. w. S. 31. 32;* — die Commissarien der *Société philomatique* in GREN's Journal der Physik. 1794. Bd. VIII. S. 23 (6);* — PFAFF a. a. O. S. 132. 313;* — CAVALLO, Vollständige Abhandlung u. s. w. 1797. Bd. II. S. 291;* — REINHOLD, *De Galvanismo Specimen* I. Lipsiae 1797. p. 122;* — KRIMER, Physiologische Untersuchungen. 1820. S. 70.* — Die Leichen vom Blitz Erschlagener sollen bekanntlich schnell in Fäulniss übergehen. Vergl. über Prof. RICHMANN's Leiche REIMARUS, vom Blitze. Hamburg 1778. S. 116 ff., s. aber auch daselbst S. 111.

36. (S. **217** ff.) Weitere Stellen über die Identitätslehre: MIRABEAU (HOLBACH), *Système de la Nature.* Londres 1770. p. 125 Note;* — *Édition de* 1771. vol. I. p. 136;* — HERDER's Ideen zur Philosophie der Geschichte der Menschheit. Riga und Leipzig 1785. I. Th. S. 121;* — ARNEMANN, Versuche über die Regeneration an lebenden Thieren u. s. w. Göttingen 1787. Bd. I. S. 294* (dagegen); — GREN in seinem Journal der Physik. 1792. Bd. VI. S. 408* (dagegen); — PEART, *Physiology ... with .... an explanation of the experiments of* GALVANI *and others on animal Electricity.* London 1798 (dagegen); — SOMMERING, Denkschriften der Akademie der Wissenschaften zu München für die Jahre 1809 und 1810. 4°. S. 411,* und in POGGENDORFF's Annalen u. s. w. 1859. Bd. CVII. S. 647* (das galvanische Leitungsseil ein Analogon der Nervenverbindung); — STEINBUCH, Beytrag zur Physiologie der Sinne. Heidelberg 1811. S. 5;* — Denkwürdigkeiten aus dem Leben Sir HUMPHRY DAVY's. Deutsch von NEUBERT. Leipzig 1840. Bd. I. S. 108;* — HUMPHRY DAVY, *Consolations in Travel.* p. 140; — DUTROCHET, *de l'Agent immédiat du Mouvement vital* etc. Paris 1826. p. 219—221*; — JOH. MÜLLER in BURDACH's Physiologie als Erfahrungswissenschaft. Bd. IV. Leipzig 1832. S. 135;* — in: KARL BELL's physiologische und pathologische Untersuchungen des Nervensystems. Aus dem Englischen ... von ROMBERG. Berlin 1832.

Digitized by Google

S. 384;* — und in POGGENDORFF's Annalen u. s. w. 1832. Bd. XXV. S. 572;* — E. H. WEBER in HILDEBRANDT's Handbuch der Anatomie des Menschen. 4. Ausgabe, Stuttgart 1833. Bd. I. S. 108;* — HEIDENREICH, die physiologische Induction, ein Beitrag zur medicinischen und Nervenphysik. Ansbach 1846, S, 10. 14;* — R. B. TODD, in der *Cyclopaedia of Anatomy and Physiology.* Vol. III. London 1839 bis 1847. Article: *Physiology of the Nervous System. Is the nervous force electricity?* p. 720^{P} sqq.; — STRAUSS-DÜRKHEIM, (Erneuerung von WHARTON JONES' elektromagnetischer Theorie der Muskelzusammenziehung, oben Bd. I. Abth. II. S. 9. 10), *Comptes rendus* etc. 19 Février 1849. t. XXVIII. p. 269;* — l'Institut t. XXII. No. 799. p. 58;* — STRAHL, Versuch, elektrische Wirkungen von den PACINI'schen Körperchen zu erhalten, MÜLLER's Archiv u. s. w. 1848. S. 165;* — PACINI, *Sulla struttura intima dell' Organo elettrico del Gimnoto e di altri pesci elettrici* ec. Firenze 1852. p. 11. 12. Nota. Es ist für den damaligen Stand der Wissenschaft bezeichnend, dafs während PACINI trotz HENLE's und KÖLLIKER's verneinenden Ergebnissen (STRAHL's kannte er nicht) der Vorstellung einer elektrischen Function der nach ihm genannten Körperchen treu bleibt, er von meinen Versuchen sagt: „*che . . non siano altro che una pura illusione*" (p. 32. Nota).

37. (S. 227.) Zu PARTINGTON's elektromagnetischer Dame. Obschon die Zeit dieser Art von Täuschungen wohl vorüber ist, hat es vielleicht noch einiges Interesse, zu erfahren, wie dergleichen entstehen konnte. Als ich 1852 in der Royal Institution meine Versuche zeigte, behauptete eine Dame, das Vermögen zu besitzen, die Magnetnadel nach Willkür abzulenken, und wirklich versetzte sie die Nadel des Nervenmultiplicators in die heftigsten Schwingungen, indem sie bald auf der einen, bald auf der anderen Seite den Kopf der Glocke des Instrumentes näherte. Die Dame hatte einen Hut auf. Glücklicherweise erinnerte ich mich, dafs FARADAY irgendwo in den *Experimental Researches* als sehr feinen Eisendraht *bonnet-wire* anwendete. Ich bat die Dame den Hut abzulegen, und sie war ihres wunderbaren Vermögens beraubt, welches aber dem Hut noch anhaftete.

38. (S. 232 Anm. 1.) Der zehnte Band von MAGENDIE's Journal fehlte zur Zeit dieser Studien der Königlichen Bibliothek. Ich fand später bei meinem verstorbenen Freund und Gönner, Professor ALFRED VOLKMANN in Halle, Gelegenheit diesen Band und darin PERSON's Arbeit im Original nachzusehen, und mich von der Richtigkeit meiner aus zweiter Hand geschöpften Darstellung nachträglich zu überzeugen.

Digitized by Google

39. (S. 273.) Ich habe später, in den Fortschritten der Physik im Jahre 1848 u. s. w. Berlin 1852. S. 314 eine noch einfachere Art angegeben, die Zuckung durch den Nervenstrom zu erhalten. Sie besteht darin, die Zuleitungsgefäfse fortzulassen, und den Nerven nur über zwei auf isolirender Fläche ruhende balkenförmige Bäusche zu brücken, zwischen denen man mit einem Schliefsungsbausch die Leitung herstellt oder abbricht. Da die Zuckung ausbleibt, wenn der Nerv beiderseits mit Längsschnitt aufliegt, bedarf man in der That des Multiplicators nicht, um sich von der Gleichartigkeit des Kreises zu überzeugen. Doch wirkt nach einem von Pflüger entwickeltem Princip der metallische Schluſs günstiger als der durch feuchte Leiter, so daſs in dieser Hinsicht die im Text beschriebene Anordnung Etwas vor der neuen voraus hat (Gesammelte Abhandlungen zur allgemeinen Muskel- und Nervenphysik. Bd. I. Leipzig. S. 172. 173. Anm.).

40. (S. 294.) Wie ich später fand, hat schon Nobili einmal von einem elektrotonischen Zustand der Froschpräparate, vergleichbar Faraday's elektrotonischem Zustand der Materie, gesprochen (*Memorie ed Osservazioni edite ed inedite* ec. Firenze 1834. p. 252. 254*). Allein er versteht darunter nicht, wie ich es that, den Zustand, in den der Nerv bei der Schliefsungszuckung verfällt, und dessen Schwinden beim Öffnen der Kette die Öffnungszuckung erzeugt, sondern den Zustand veränderter Erregbarkeit, in welchen das Präparat durch längere Schliefsung einer Säule versetzt wird, und worin weder Öffnen noch Schliefsen der Säule mehr Zuckung bewirkt, welche aber wieder erscheint, wenn der Strom umgekehrt wird. Nobili's elektrotonischer Zustand ist also nur ein anderer Ausdruck für Voltaische Abwechselungen oder Modificationen der Erregbarkeit durch geschlossene Ketten (S. oben Bd. I. S. 365 ff.).

41. (S. 364.) Die Frage, welchen Einfluſs die Einführung neuer Elemente von beliebiger Kraft und beliebigem Widerstande in einen Kreis auf den darin fliefsenden Strom übe, findet sich erschöpfend erörtert von Poggendorff in seinen Annalen u. s. w. 1839. Bd. XLVII. S. 125.* — S. auch ebenda 1842. Bd. LVI. S. 150.*

42. (S. 417.) Folgendes ist der mittels der Variationsrechnung zu führende Beweis für den, wenn ich nicht irre, theoretisch interessanten und praktisch nicht unwichtigen Satz, zu welchem wir hier gelangten. Da wir uns des Algorithmus der Variationsrichtung bedienen wollen, vertauschen wir zweckmäfsig Δ mit dem ihm proportionalen i, worunter wir die Stromstärke als Function der Zeit verstehen.

Digitized by Google

Eine Function $i(t)$ sei im Intervall $T \ldots\ldots T_I$ von t endlich und bis auf vereinzelte Punkte stetig, und erfülle die Bedingung:

$$\int_T^{T_I} i\,(t)\,dt = C, \quad \ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

wo C eine gegebene Constante; übrigens sei $i\,(t)$ ganz willkürlich. Es wird gefragt, wie eine Function $F(i)$ beschaffen sein müsse, damit stets:

$$\int_T^{T_I} F(i)\,dt = C_I, \ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

wo C_1 eine andere gegebene Constante. Um $F(i)$ zu finden, variiren wir (1) und (2). Wir erhalten:

$$\int_T^{T_I} \delta i\,dt = 0, \ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

$$\int_T^{T_I} \frac{dF}{di}\,\delta i\,dt = 0 \ldots\ldots\ldots \quad (4)$$

Die Variation δi ist durch die Bedingung (3) und nur durch sie beschränkt. Verfährt man nach der isoperimetrischen Regel, indem man das Integral in (3) mit einer unbestimmten Constanten $-\lambda$ multiplicirt, und dann (3) zu (4) addirt, so kommt:

$$\int_T^{T_I} \left(\frac{dF}{di} - \lambda\right) \delta i\,dt = 0.$$

Nun kann man, nach derselben Regel, δi als ganz willkürliche Variation behandeln, und hat demgemäfs zur Bestimmung von F die Gleichung:

$$\frac{dF}{di} - \lambda = 0,$$

aus welcher

$$F = \lambda i + \mu$$

folgt, wo μ eine zweite willkürliche Constante. Um λ und μ zu bestimmen, führen wir diesen Ausdruck für F in (2) ein, und erhalten wegen (1):

$$\lambda C + \mu\,(T_I - T) = C_I.$$

Da für die Constanten λ, μ sonst keine Bestimmung vorliegt, bleibt eine von beiden willkürlich. In unserem speciellen Falle, wo C und $C_I = 0$ sind, mufs aber $\mu = 0$ sein, und man hat

$$F = \lambda i,$$

Digitized by Google

w. z. b. w. Hier bestimmt sich dann auch λ noch näher. Für die an einer gegebenen Bussole gemessene Stromstärke i_0 sei der an einer anderen Bussole von geeigneter relativer Empfindlichkeit gemessene Elektrotonuszuwachs $= F_0$. Dann ist

$$F_0 = \lambda i_0,$$

$$\lambda = \frac{F_0}{i_0},$$

folglich:

$$F = \frac{F_0}{i_0} \cdot i.$$

43. (S. 519.) Man kann trockene Sätze durch Zusatz von 20 % Kreide tempiren, auch nur aus Schwefel und Salpeter (2 : 1, ohne Kohle) einen langsam abbrennenden Satz mischen (s. M. Meyer, Vorträge über die Artillerie-Technik. Berlin 1833. I. Th. S. 357).

44. (S. 575.) Zur Frage, ob es einsinnig leitende materielle Systeme gebe. Allerdings ist, worauf mich mein Freund G. Kirchhoff aufmerksam machte, eine optische Combination denkbar, für welche das Gesetz der Reciprocität nicht mehr gilt, so dafs sie das Licht nur in Einer Richtung durchläfst. Eine solche Combination bestände aus zwei Nicol'schen Prismen, deren Hauptschnitte mit einander einen Winkel von 45° machen, und zwischen denen sich ein durch magnetische Kräfte circumpolarisirendes Medium befindet, welches die Polarisationsebene (bei beiden Richtungen des Strahles im gleichen absoluten Sinne) um 45° dreht. Übrigens werden, seit ich jenes theoretische Bedenken gegen die Annahme einsinniger Leitung in den Nerven erhob, gerade im Gebiet der Elektricitätsbewegung so viele Fälle irreciproker Leitung bekannt, dafs dies hier vielmehr die Regel zu sein scheint (Vergl. Arthur Christiani, Beiträge zur Electricitätslehre. Über irreciproke Leitung elektrischer Ströme u. s. w. Berlin 1876).

II (II). Zu zweiten Bandes zweiter Abtheilung.

45. (S. 2 Anm. 1.) Die hier in Aussicht gestellten Bemerkungen über Cima's *Saggio* würden jetzt ganz veraltet erscheinen. Ohnehin findet man sie ausführlich in den Fortschritten der Physik im Jahre 1848 u. s. w. IV. Jahrgang. Berlin 1852. S. 309—326.

46. (S. 17 Anm. 1.) John Davy's Arbeit ist abgedruckt in seinen *Researches, physiological and anatomical.* London 1839. vol. I. p. 106.*

Digitized by Google

— Joh. Müller im Handbuche der Physiologie u. s. w. Bd. I. 3. Aufl. S. 423;* — 4. Aufl. S. 339,* giebt merkwürdigerweise den Krötenhautsaft als alkalisch an. — Sauer fand dagegen das Hautsecret der Kröte, des Salamanders und des Grasfrosches C. A. S. Schultze, Systematisches Lehrbuch der vergleichenden Anatomie u. s. w. Berlin 1828. I. Abth. Allgemeine Anatomie. Tab. I. zu S. 135.* — Gratiolet und Cloëz, welche die Giftigkeit des Kröten- und Salamander-Hautsecretes feststellten, beschrieben es gleichfalls als intensiv sauer (*Comptes rendus* etc. 21 Avril 1851.) XXXII. p. 592;* — *l'Institut* etc. XIX. No. 903. p. 131.*

47. (S. **33** Anm. 1.) Hier war mir eine Hauptstelle entgangen: Spallanzani in *Rapports de l'air avec les êtres organisés* etc. *Tirés des Journaux d'observation ... de* Lazare Spallanzani .... Par Jean Senebier. Genève 1807. t. I. p. 359 et suiv.*

48. (S. **83** Anm.) Über Schneidewerkzeuge aus Obsidian (Iztli) vergl. Prescott, *History of the Conquest of Mexico* etc. Paris 1844. vol. I. p. 48. 89.*

49. (S. **165.**) In der Sprache der älteren Physiologie nennt man integrirende Reize auch die allgemeinen Daseinsbedingungen der Lebewesen, als: Wärme, Feuchtigkeit u. a. m. Vgl. Müller's Handbuch der Physiologie u. s. w. Bd. I. 4. Aufl. 1844. S. 28.*

50. (S. **302.**) Zur Theorie der zusammengesetzten Ketten, welche hier in Betracht kommt, vergl. Poggendorff in seinen Annalen u. s. w. 1841. Bd. LIV. S. 161 und 1842 Bd. LV. S. 158.

51. (S. **320.**) Über den Bericht, den Pouillet im Namen der *Commission d'Électrophysiologie* über meine Untersuchungen der *Académie des Sciences* erstattete, vergl. die Fortschritte der Physik in den Jahren 1850 und 1851 u. s. w. Berlin 1855. S. 754—759. — Weitere Versuche zur Wiederholung meines Versuches, beziehlich Urtheile darüber finden sich von Magrini, im *Giornale dell' I. R. Istituto Lombardo di Scienze, Lettere ed Arti e Biblioteca Italiana nuova.* Serie t. II. p. 41* (28 Ott. 1850); — Zantedeschi, *Comptes rendus* etc. 4 Octobre 1852. t. XXXV. p. 480;* — Sir David Brewster, Article Electricity: *The Encyclopaedia Britannica* etc. 8th Edition. 1855. vol. VIII. p. 111. p. 572.*

52. (S. **326—328.**) In der Tabelle auf letzterer Seite ist das Pluszeichen bei *F* für Zinn in Chlorwasserstoffsäure durch ein Minuszeichen zu ersetzen, und für Zinn in verdünnter Schwefelsäure gleichfalls ein *F* mit einem Minuszeichen einzutragen (S. Faraday an dem S. 326 Anm. 2 a. O.). — Edmond Becquerel hat diese Ströme durch

Digitized by Google

Schütteln der einen von zwei gleichartigen Elektroden weiter untersucht: *Comptes rendus* etc. 26 Juin 1855. t. XL. p. 1344;* — *l'Institut.* t. XXIII. No. 1121. p. 217;* — *Annales de Chimie et de Physique.* 3me Série. t. XLIV. p. 401.*

53. (S. 374.) Andrew Ure's Versuche stehen in den *Annals of Philosophy* etc. by Thomas Thomson, vol. VI. 1819 (*An account of some experiments made on the body of a criminal immediately after execution* etc.). Sie haben nicht einmal das Interesse der Neuheit, und es fällt auf, dafs Joh. Müller nicht die ungleich drastischeren Versuche der Art erwähnte, welche am 21. November 1803 in Mainz an den zwanzig gleichzeitig hingerichteten Mitgliedern der Räuberbande des Schinderhannes angestellt und in einer eigenen Schrift beschrieben wurden (Galvanische und elektrische Versuche an Menschen- und Thierkörpern angestellt von der medicinischen Privatgesellschaft zu Mainz. Frankfurt am Main 1804. 4°.*).

Digitized by Google

Nachweis zu den Kupfertafeln

des zweiten Bandes.

(Die ganzen Zahlen oder die Decimalbrüche, welche sich, durch einen Gedankenstrich getrennt, den Figurenzahlen der Abbildungen angehängt finden, die nicht entweder schematisch gehalten oder in Perspective gesetzt sind, bedeuten den Maſsstab, worin der Gegenstand dargestellt ist, die natürliche Gröſse = 1.0 gesetzt.)

Zur ersten Abtheilung.

Fig. 79—84. Taf. I. Zur Lehre von den Stromschleifen in einem Leiter, der einen stromführenden Kreis mit einem zweiten, sonst davon isolirten Kreise verbindet. S. 41—44. 296.

Fig. 85. Schema des Grundversuches über die negative Schwankung des Gastroknemiusstromes beim Tetanisiren des Muskels vom Ischiadnerven aus mittelst der Wechselströme einer Inductionsvorrichtung, deren primärer Kreis durch ein gedrehtes Unterbrechungsrad geschlossen und geöffnet wird. S. 49. 50. — Die beiden stromprüfenden Schenkel G_I und G_{II} zeigen secundäre Zuckung oder secundären Tetanus. S. 88.

Fig. 86 und 87 A, B. Die kleine Streckvorrichtung (Muskelspanner). Der Versuch dient zum Beweise, daſs die negative Schwankung nicht von Verschiebung des Muskels auf den Bäuschen herrührt. S. 67. 68.

Fig. 88. Versuch über den Leitungswiderstand des tetanisirten Muskels mit Hülfe der groſsen und der kleinen Streckvorrichtung. S. 76—84. Vergl. S. 130. 132.

Fig. 89 stellt die verschiedenen Möglichkeiten hinsichtlich des zeitlichen Verlaufes der Muskelstromstärke im Tetanus dar. S. 91. 121.

Fig. 90. Taf. II. Zum Gesetz der Abnahme des Muskelstromes nach dem Tode. S. 154.

Fig. 91. Zur elektromotorischen Unwirksamkeit der Berührung ungleichartiger Gewebe. S. 208.

Digitized by Google

Fig. 92—98.* Zum Gesetz des Nervenstromes. S. 251—268.
Fig. 92. 93. Der Ischiadnerv vom Frosch liegt mit natürlichem Längsschnitt und künstlichem Querschnitt auf. Je nachdem der letztere dem Centrum oder der Peripherie näher gelegen ist, erscheint der Nerv ab- oder aufsteigend durchflossen. S. 251. 252. — Fig. 94. Strom im zusammengefalteten Nerven von beiden gleichzeitig auf den einen Bausch gelagerten Querschnitten zur Schlinge. S. 252. — Fig. 95. Beiderseits mit Querschnitt aufgelegt ist der Nerv wirkungslos. S. 252. — Fig. 96. 97. Mit zwei Punkten des natürlichen Längsschnittes aufgelegt, von denen der eine dem Querschnitt näher ist, wirkt der Nerv elektromotorisch in derselben Richtung, nur schwächer, als ob statt des dem Querschnitt näheren Punktes der Querschnitt selber aufläge. S. 253. — Fig. 98. Liegen die Punkte gleichweit vom mittleren Querschnitt, so bleibt die Nadel annähernd in Ruhe. S. 253. — Fig. 98.* Das dickere Stück des Nerven wirkt stärker als das dünnere. S. 268, wo durch einen Druckfehler diese Figur als Fig. 99 bezeichnet ist.

Fig. 99. 100. Positive und negative Phase des elektrotonischen Zustandes. S. 293.

Fig. 101. Beide Phasen zugleich an den beiden Enden eines in der Mitte durchflossenen Nerven. S. 302—303.

Fig. 102. Untersuchung des elektrotonischen Zustandes zwischen verschiedenen Punkten des natürlichen Längsschnittes des Nerven. S. 305—307.

Fig 103. Taf. III. Zur Widerlegung der Annahme, die elektromotorische Kraft der in der positiven Phase des elektrotonischen Zustandes begriffenen Nervenhälfte sei erhöht, die der anderen vermindert bis umgekehrt. S. 308—313.

Fig. 104. Taf. II. Die Erscheinungen des elektrotonischen Zustandes erklären sich bei der Annahme, dafs sich auf allen Punkten des Nerven ein dem erregenden Strome gleichgerichteter Zuwachs algebraïsch zum gewöhnlichen Nervenstrom hinzufüge. S. 315.

Fig. 105. Taf. III. Die Curve des Zuwachses und die aus der Summation ihrer Ordinaten und derer des gewöhnlichen Nervenstromes resultirende Curve. S. 317. 318.

Fig. 106. Taf. II. Mifsglückter Versuch zum Beweise, dafs der Zuwachs im elektrotonischen Zustande unabhängig ist von der Stärke, mit welcher der Nervenstrom gemäfs der Art seiner Ableitung im Multiplicatorkreise gegenwärtig ist. S. 319. 320.

Digitized by Google

Fig. 107 A, B. Taf. III. Zur Molecularhypothese über den Zuwachs im elektrotonischen Zustande. S. 323. 324.

Fig. 108. Zur Erforschung des Einflusses der Länge der erregten Strecke auf die Stärke der säulenartigen Polarisation der Nerven. S. 337. 338.

Fig. 109. 110 A, B. Vorrichtung zum Unterbinden eines Nerven zwischen Blechen und Bäuschen. S. 340—345.

Fig. 111. Zur Untersuchung des elektrotonischen Zuwachses bei gleichzeitiger Einwirkung zweier Ströme auf den Nerven. S. 351.

Fig. 112. Der elektrotonische Zuwachs verschwindet bei senkrechter Durchströmung des Nerven. S. 357. 358.

Fig. 113. Zur Untersuchung des Einflusses der Entfernung der abgeleiteten Strecke von der erregten Strecke auf die Gröfse des elektrotonischen Zuwachses. S. 361.

Fig. 114. Zur Untersuchung über die relative Gröfse des positiven und negativen Zuwachses im elektrotonischen Zustande. S. 374. 375.

Fig. 115. Die Curve des elektrotonischen Zuwachses vor und hinter der erregten Strecke. S. 377.

Fig. 116. Vorrichtung, um dem Nerven voltaëlektrische Inductionsströme durch unpolarisirbare Elektroden zuzuführen. S. 408. 409.

Fig. 117. Taf. II. Negative Schwankung des Nervenstromes beim Tetanisiren mit Wechselströmen. S. 425.

Fig. 118. Die negative Schwankung gleichzeitig an den beiden Querschnitten des Nerven erzeugt. S. 426.

Fig. 119. Die negative Schwankung erscheint an jeder Stelle des Nerven proportional der Stärke des dort herrschenden Stromes. S. 428.

Fig. 120. Taf. III. Die Curve der negativen Schwankung des Nervenstromes. S. 429.

Fig. 121. Zum Beweise, dafs die negative Schwankung nicht von dem Freiwerden von Ladungen durch den abwechselnd positiven und negativen elektrotonischen Zuwachs herrührt. S. 437.

Fig. 122. Taf. IV. Versuch zum Beweise, dafs der Leitungswiderstand des Nerven sich beim Tetanisiren nicht merklich ändert. S. 445. 446.

Fig. 123. Zur Erläuterung des Einflusses, den die Stärke des erregenden Stromes auf die Gröfse der negativen Stromesschwankung beim Tetanisiren der Nerven übt. S. 452—457.

Fig. 124. Zur Erläuterung des Einflusses, den die Entfernung der abgeleiteten von der erregten Strecke auf die scheinbare Gröfse der negativen Stromesschwankung beim Tetanisiren der Nerven übt. S. 464. 465.

Digitized by Google

Fig. 125. 126. Zur Theorie der Compensation der Ablenkungen durch die Drahtmassen am Multiplicator. S. 488—494. Auf letzterer Seite sind Z. 14 und 15 von oben die Worte zu streichen: „Sie bleibt gestaltet etwa wie die kurzpunktirte Curve in Fig. 126", da diese Curve, um die Figur nicht noch mehr zu verwickeln, fortgelassen wurde.

Fig. 127. Zur Theorie der unipolaren Ablenkungen nicht isolirter empfindlicher Multiplicatoren. S. 500—506.

Fig. 128. Das WHEATSTONE'sche Stromnetz. S. 500.

Fig. 129. 130. Negative Schwankung des Nervenstromes an dem mit Strychnin tetanisirten Frosch. S. 511. 512.

Fig. 131. Rädchen zum mechanischen Tetanisiren des Nerven. S. 518.

Fig. 132. Taf. V. Vorrichtung zur Darstellung der negativen Schwankung des Nervenstromes an den Empfindungsnerven durch schmerzhafte Einwirkung auf deren Hautverzweigungen.

Fig. 133. 134. Taf. IV. Der Nervenstrom sendet Stromschleifen in einen seinem Querschnitt angelegten Leiter. S. 525.

Fig. 135. 136. Taf. V. Secundäre Zuckung vom Nerven aus. S. 533.

Fig. 137. Taf. IV. Zur Theorie der secundären Zuckung vom Nerven aus. S. 536. 537.

Fig. 138. 139. Taf. II. Der secundäre elektrotonische Zustand. S. 542.

Fig. 140. Taf. V. Elektrotonischer Zustand des Nerven durch den eigenen Strom erzeugt. S. 544.

Fig. 141. Die paradoxe Zuckung. S. 546.

Fig. 142. Erklärung des scheinbar verkehrten Zuwachses bei elektrotonischem Zustande des Rückenmarkes. S. 606.

Zur zweiten Abtheilung.

Fig. 143. Kupferzinkschema zur Bewährung der Hypothese, nach welchen die peripolaren Molekeln Gruppen aus je zwei dipolaren Molekeln sind, und der darauf fufsenden Theorie der parelektronomischen Schicht. S. 93. 94.

Fig. 144. Facettenförmige Endigung der Primitivmuskelbündel des M. triceps Cuv. vom Frosch.

Fig. 145. Wiederholung der Fig. 89 (S. oben) mit Berücksichtigung der Nachwirkung. S. 157. 158.

Fig. 146. Zum elektromotorischen Verhalten ungleich erwärmter, sonst gleichartiger Hautstellen gegen einander. S. 208.

Digitized by Google

Fig. 147. Negative Schwankung des Muskelstromes am lebenden menschlichen Körper durch willkürlichen Tetanus der Arme. Nach einem Daguerréotyp von Oehme. S. 287.

Fig. 148. Taf. VI. Versuch zum Beweise, dafs die elektromotorische Wirkung beim willkürlichen Tetanus der Arme von keiner Störung des Kreislaufes in der Haut des eingetauchten Fingers herrührt. S. 360. 361.

Fig. 149 A. Eins der Handgelenkgefäfse *in situ*. Auf dem Boden ist die Blasenpflasterwunde zu denken. S. 365. — Fig. 149 B. Eine der Binden zur wasserdichten Befestigung der Handgelenkgefäfse. S. 365.

Fig. 150. Die Versuchsanordnung zur Beobachtung secundär-elektromotorischer Wirkungen mit Hülfe der Querbäusche. S. 383—385.

Fig. 151. Die Wippe zur doppelten Schliefsung des Multiplicator- nach doppelter Öffnung des Säulenkreises. S. 389—392. Die Figur ist lange nach der im Texte gegebenen Beschreibung gezeichnet, wobei sich herausstellte, dafs die gewählte perspectivische Darstellung sich schlecht dazu eignet, das Spiel der Wippe zu veranschaulichen. Statt der Fünfsecundenscheibe, wie es im Texte heifst, sieht man in der Figur die $^1/_n$″-Scheibe an die Axe des Carcel-Lampen-Uhrwerkes gesteckt.

Fig. 152 A. Die 5″-Scheibe. Fig. 152 B. Dieselbe mit der 5″-Verzögerung des Schlusses des Multiplicatorkreises. S. 392—393.

Fig. 153. Die Anordnung zur Beobachtung der Polarisation an der Grenze ungleichartiger Elektrolyte. S. 403. 404.

Fig. 154. Die H-förmige Anordnung der drei balkenförmigen Bäusche. S. 408.

Fig. 155. Zur Erläuterung der aus der algebraïschen Summation der Polarisation an der Grenze ungleichartiger Elektrolyte und der inneren Polarisation resultirenden secundär-elektromotorischen Wirkungen. S. 409—412.

Fig. 156. Zur Erläuterung der etwas abweichenden Wirkungen bei Tränkung des durchströmten Bausches mit Hühnereiweifs. S. 412.

Fig. 157. Peltier'sches Kreuz mit zwei balkenförmigen Bäuschen zum Nachweis der Polarisation an nur Einer Grenze ungleichartiger Elektrolyte. S. 413.

Fig. 158 A. Ein Keilbausch einem gewöhnlichen Bausch aufsitzend und darauf mittelst eines Fadens befestigt. Fig. 158 B. Gläserner Nagel zur anderen Art der Befestigung des Keilbausches. S. 425. 426.

Digitized by Google

Fig. 159 A, B. Die Ohm'schen Gefälle des elektrischen Potentials in einem innerlich polarisirbaren Körper bei negativer Polarisation. S. 467—469.

Fig. 160 A, B. Dieselben bei positiver Polarisation. S. 470.

Fig. 161 A, B. Die freien Spannungen der Elektricität an den beiden Enden eines negativ und eines positiv innerlich polarisirten Leiters. S. 470.

Fig. 162. 163 dienen zur Erläuterung der schematischen Rechnung über die Abhängigkeit des Maximums der inneren Polarisation vom specifischen Widerstande des porösen Körpers. S. 483—488.

Digitized by Google

Inhaltsverzeichnifs des zweiten Bandes.

Erste Abtheilung.

Dritter Abschnitt.

Untersuchung
(Fortsetzung).

Viertes Kapitel.

Von dem Einflusse der Zusammenziehung auf den Muskelstrom.

§. I.

Seite

Geschichtlicher Überblick über die Bestrebungen, elektromotorische Wirkungen von den Muskeln im Augenblicke der Zusammenziehung zu erhalten.

1. Elektrische Theorieen der Muskelzusammenziehung bis zu Matteucci.

Vorbericht, S. 3. — Spannungselektrische Theorieen: De Sauvages, des Hais, Priestley, Erasmus Darwin, Meissner, S. 5. 6. — Elektrodynamische Theorieen: P. Erman, Prévost und Dumas, Ed. Weber, S. 7. — Prévost's spätere Angaben widerlegt von Peltier, S. 8. 9. — Schwann's Kritik jeder auf elektrischer Anziehung fufsenden Theorie der Muskelzusammenziehung, S. 10. 11.

2. Matteucci's Bestrebungen, elektrische Erscheinungen bei der Muskelzusammenziehung wahrzunehmen.

Der Froschstrom nimmt durch die Zusammenziehung an Stärke ab, S. 11. 13; — an Stärke zu, S. 13. 14. 16—20. — Entdeckung und weitere Verfolgung der *Contraction induite* (secundären Zuckung), S. 14—16. 20—25.

3. Erste Darlegung der negativen Schwankung des Muskelstromes bei der Zusammenziehung in meinem »*Vorläufigen Abrisse u. s. w.*« 25

§. II.

Von der Art und Weise, den Strom des zusammengezogenen Muskels am Multiplicator zu untersuchen.

Vorbericht 30

Digitized by Google

Seite

1. Von den verschiedenen Arten zu tetanisiren, insbesondere dem Tetanisiren auf elektrischem Wege.
   (I) Tetanisiren durch mechanische Gewaltthätigkeiten 32
   (II) Tetanisiren durch Vergiftung 34
   (III) Tetanisiren auf elektrischem Wege — Volta, S. 36. — Nobili, S. 37. — Sternberg, S. 38. — Matteucci, S. 38. 39. — E. du Bois-Reymond, S. 39. — Ed. Weber, S. 39. — Ritter'scher Tetanus, S. 39.
2. Rechtfertigung der Methode des Tetanisirens auf elektrischem Wege bei thierisch-elektrischen Versuchen 40
3. Von der besten Art des Tetanisirens auf elektrischem Wege bei thierisch-elektrischen Versuchen 45

§. III.

Von dem Verhalten der Multiplicatornadel während der Zusammenziehung 50

1. Der Rückschwung der Nadel beim Tetanisiren auf elektrischem Wege rührt nicht von dem Hereinbrechen des erregenden Stromes in den Multiplicatorkreis her 51
   (I) Reisung des Nerven auf mechanischem Wege 52
   (II) Reisung des Nerven durch Wärme 54
   (III) Reisung des Nerven durch chemische Einwirkung 54
   (IV) Vergiftung mit Strychnin 55
   (V) Tetanisiren auf elektrischem Wege nach Ritter's Angabe . . . 57
   (VI) Willkürliche Zusammenziehung 59
2. Von der nächsten Bedeutung des Rückschwunges der Nadel während der Zusammenziehung 59
3. Die Abnahme des Muskelstromes während der Zusammenziehung rührt nicht von einer zufälligen Vergröſserung des Widerstandes des Multiplicatorkreises her 62
4. Die Abnahme des Muskelstromes während der Zusammenziehung rührt nicht von der Lageveränderung des Muskels auf den Bäuschen her . . 65
5. Die Abnahme des Muskelstromes während der Zusammenziehung rührt nicht von seiner Gestaltveränderung her 73
6. Die Abnahme des Muskelstromes während der Zusammenziehung rührt nicht von einer Veränderung des eigenthümlichen Widerstandes der Muskelsubstanz her 74
7. Die Abnahme des aufsteigenden Stromes des Gastroknemius vom Frosche während der Zusammenziehung rührt nicht von einem während derselben auftretenden absteigenden Strome her 85

§. IV.

Von dem Verhalten des stromprüfenden Froschschenkels während der Zusammenziehung, nebst der Erklärung der secundären Zuckung Matteucci's.

1. Vom Verhalten des stromprüfenden Froschschenkels in dem Kreise eines tetanisirten Muskels 87

Digitized by Google

Seite
2. Erklärung der secundären Zuckung Matteucci's 93
3. Widerlegung von Matteucci's Theorie der secundären Zuckung . . . 99
4. Fernere Bemerkungen über die secundäre Zuckung 118

§. V.

Von dem wahren Verhalten des Muskelstromes im Augenblicke der Zusammenziehung 120

§. VI.

Anhang.

Untersuchung des Einflusses einiger anderen Cohäsionsveränderungen auf den Muskelstrom.

1. Von dem Einflusse der Ausdehnung des Muskels auf die Stärke seines Stromes 129
2. Von dem Einflusse der Zusammendrückung des Muskels auf die Stärke seines Stromes 134
3. Erörterung der vorigen Ergebnisse 140

Fünftes Kapitel.

Von dem Einfluſs verschiedener Umstände auf den Muskelstrom.

§. I.

Von dem Gesetze der Abnahme und der natürlichen Grenze des Muskelstromes nach dem Tode.

1. Matteucci's Erfahrungen über Dauer und Abnahme des Frosch- und Muskelstromes 143
2. Von der Todtenstarre als der natürlichen Grenze des Muskelstromes nach dem Tode 156

§. II.

Von dem Einflusse solcher Umstände auf den Muskelstrom, die das Thier während des Lebens getroffen, auch wohl dasselbe getödtet haben.

Vorbericht 165
1. Einfluſs krankhafter Zustände des Thieres auf den Muskelstrom.
   (I) Natürlich entstandene krankhafte Zustände 168
   (II) Künstlich hervorgerufene krankhafte Zustände 170
2. Einfluſs verschiedener Todesarten des Thieres auf den Strom 171

Digitized by Google

Seite

§. III.

Von dem Einflusse solcher Umstände auf den Muskelstrom, welche den vom Gesammtorganismus getrennten Muskel unmittelbar treffen.

Vorbericht 177
1. Einfluſs der Temperatur.
(I) Temperaturerhöhung 178
(II) Temperaturerniedrigung 180
2. Einfluſs elektrischer Schläge 181
3. Einfluſs narkotischer Gifte 182
4. Einfluſs der Ätzmittel 183
5. Einfluſs des Aufenthaltes in verschiedenen Gasarten und dem luftverdünnten Raume 184

Sechstes Kapitel.

Von dem Strome einiger anderen Gewebe, insbesondere dem Nervenstrome.

§. I.

Von dem Strome bei den verschiedenen Formen des Muskelgewebes, den Gefäſswänden, Sehnen u. s. w., dem Nervenstrom im Allgemeinen und der elektromotorischen Unwirksamkeit der Berührung ungleichartiger Gewebe.

1. Von dem Strome der verschiedenen Gewebe 197
2. Von der elektromotorischen Unwirksamkeit der Berührung ungleichartiger Gewebe. (Fortsetzung von §. VII. Kap. I. dieses Abschnittes. S. oben Bd. I. S. 481. 521) 207

§. II.

Geschichtlicher Ueberblick über die Bestrebungen, elektrische Wirkungen an den Nerven nachzuweisen.

1. Der vorgalvanische Zeitraum.
Christian August Hausen, S. 210—212. — François Boissier de Sauvages, S. 212. 213. — Lecat, S. 214. — Haller, S. 214. 215. — Andere Anhänger der Identitätslehre, S. 216—218.
2. Zweiter Zeitraum. Von Galvani bis zur Entdeckung des Elektromagnetismus.
Verschiedene Anhänger der Identitätslehre, S. 218—220. — Weinhold, S. 220. 221. — Wilson Philipp, S. 221—223. — De la Rive, S. 223. 224.
3. Dritter Zeitraum. Von der Anwendung des Elektromagnetismus durch Prévost und Dumas bis zur Berücksichtigung des Nobili'schen Froschstromes in diesem Gebiete durch Matteucci.
Prévost und Dumas, S. 224—226. — Larrey, S. 226. — W. Frid. Edwards, S. 227. — Pouillet, S. 227. — Nobili, S. 228. — Fechner, S. 229. —

Digitized by Google

Seite

Person, S. 232—234. — Cunningham, Sternberg, Folchi, S. 234. — Ed. Weber, S. 235. — Th. Ludwig Bischoff, S. 236. 237. — Lembert, Jobert, S. 237. — Laymann, Faraday, S. 238. — Pacinotti und Puccinotti, Zantedeschi und Fario, S. 238. 239. — Pelletan und Heidenreich, S. 239. — Verschiedene Autoren, S. 239—240. — Henle und Kölliker, S. 240. 241.

4. Matteucci's vergebliche Bemühungen, elektrische Wirkungen von den Nerven zu erhalten 241

§. III.

Von dem ruhenden Nervenstrome.

1. Vom Nervenstrome an den gemischten Nervenstämmen 251
2. Vom Nervenstrome an verschiedenen Theilen des Nervensystemes . . 254
3. Verfolgung des Nervenstromes in dem Thierreiche 260
4. Gesetz des Nervenstromes und seine Erörterung. Aufstellung des Gesetzes 261
   - (I) Von der Curve der Stromstärken an dem Nerven 264
   - (II) Von der Curve der Spannweiten an dem Nerven 265
   - (III) Von dem Einflusse der Länge und des Querschnittes der Nerven auf die Stärke ihres Stromes 266
   - (IV) Erörterung des Gesetzes des Nervenstromes 268
   - (V) Von der Gröfse der elektromotorischen Kraft der Nerven im Vergleich zu der der Muskeln 271
   - (VI) Zuckung durch den Strom des ruhenden Nerven hervorgebracht 272
   - (VII) Widerlegung der Annahme, der Muskelstrom rühre her von dem Strome der in den Muskeln verzweigten Nerven 274
   - (VIII) Von der Annahme einer nicht leitenden Beschaffenheit der Hülle der einfachen Nervenröhren 275
5. Von dem Gesetze der Abnahme des Nervenstromes und seiner natürlichen Grenze nach dem Tode 282
6. Von dem Einflusse solcher Umstände auf den Nervenstrom, die entweder das Thier während des Lebens getroffen, auch wohl dasselbe getödtet haben, oder denen der vom Gesammtorganismus getrennte Nerv unmittelbar ausgesetzt wird 286

Siebentes Kapitel.

Von den Bewegungserscheinungen des Nervenstromes.

§. I.

Von der Veränderung des Nervenstromes durch einen stetig einwirkenden elektrischen Strom, oder dem elektrotonischen Zustande der Nerven.

1. Einleitung. Erste Darlegung der Erscheinungen des elektrotonischen Zustandes der Nerven 289
2. Beweis, dafs die dem elektrotonischen Zustande des Nerven zugeschriebenen Erscheinungen nicht von dem Hereinbrechen des erregenden Stromes in den Multiplicatorkreis herrühren 294

Digitized by Google

Seite

3. Von der Erscheinungsweise des elektrotonischen Zustandes im Allgemeinen 298
4. Untersuchung des elektrotonischen Zustandes zwischen Längsschnitt und Querschnitt an beiden Enden des Nerven 300
5. Untersuchung des elektrotonischen Zustandes zwischen verschiedenen Punkten des natürlichen Längsschnittes des Nerven 304
6. Prüfung der Annahme, die elektromotorische Kraft der in der positiven Phase des elektrotonischen Zustandes begriffenen Nervenhälfte sei erhöht, die der anderen vermindert bis umgekehrt 308
7. Von der neuen Anordnung der elektromotorischen Kräfte der Nerven im elektrotonischen Zustande 314
8. Theorie des elektrotonischen Zustandes des Nerven 320
9. Untersuchung anderer feuchter Leiter, insbesondere der Muskeln, auf einen elektrotonischen Zustand gleich dem der Nerven 329

§. II.

Von dem Einflusse verschiedener Umstände auf die Gröfse des Zuwachses im elektrotonischen Zustande der Nerven.

Vorbericht 331

1. Von dem Einflusse der Stärke des erregenden Stromes auf die Stärke der säulenartigen Polarisation der Nerven 333
2. Von dem Einflusse der Länge der erregten Strecke auf die Stärke der säulenartigen Polarisation der Nerven.
   (I) Einleitung 337
   (II) Unmittelbares Verfahren, den Einfluſs der Länge der erregten Strecke zu erforschen 338
   (III) Mittelbares Verfahren den Einfluſs der Länge der erregten Strecke zu erforschen 340
   (IV) Vermischte Bemerkungen, betreffend den Einfluſs der Länge der erregten Strecke auf die Gröfse des Zuwachses 346
3. Von der Erscheinungsweise der säulenartigen Polarisation bei gleichzeitiger Einwirkung zweier Ströme auf den Nerven 350
4. Von dem Einflusse des Winkels zwischen der Richtung des erregenden Stromes und der Axe der Primitivröhren auf die Stärke der säulenartigen Polarisation 354
5. Von dem Einflusse der Entfernung der abgeleiteten von der erregten Strecke auf die scheinbare Gröfse des Zuwachses im elektrotonischen Zustande 359
6. Von dem Einflusse der Länge der abgeleiteten Strecke auf die scheinbare Gröfse des Zuwachses im elektrotonischen Zustande 363
7. Von dem Einflusse des Querschnittes des Nerven auf die scheinbare Gröfse des Zuwachses im elektrotonischen Zustande 368
8. Von der relativen Gröfse des positiven und negativen Zuwachses im elektrotonischen Zustande 371
9. Von dem Einflusse der Leistungsfähigkeit der Nerven auf die Stärke ihrer säulenartigen Polarisation im elektrotonischen Zustande 379

Digitized by Google

Seite

§. III.

Von der physiologischen Bedeutung des elektrotonischen Zustandes der Nerven 383

§. IV.

Von dem Verhalten des Nervenstromes beim Tetanisiren auf elektrischem Wege.

1. Von der Erscheinungsweise des elektrotonischen Zustandes bei unterbrochenem erregenden Strome.
   (I) Einleitung 390
   (II) Unterbrechungsrad 391
   (III) Magnetelektromotor 393
   (IV) Von der relativen Gröfse der beiden Zuwachse im elektrotonischen Zustande bei unterbrochenem erregenden Strome 395
   (V) Saxton'sche Maschine 398
   (VI) Voltaëlektrische Inductionsvorrichtung 404
   (VII) Elektrisirmaschine 411
2. Von der Art und Weise, die negative Schwankung des Nervenstromes beim Bewegung und Empfindung vermittelnden Vorgange, der auf elektrischem Wege angeregt wird, zu trennen von den Wirkungen der säulenartigen Polarisation.
   (I) Prüfung der Inductionsvorrichtung auf ihre Brauchbarkeit für vorstehenden Zweck 412
   (II) Folgerungen aus dem Vorhergehenden für das Gesetz der Abhängigkeit der Gröfse des Zuwachses von der Dichtigkeit des erregenden Stromes 416
   (III) Vorzüge der Inductionsvorrichtung vor dem Inversor für das Tetanisiren des Nerven mit abwechselnden Strömen. 423
3. Von der negativen Schwankung des Nervenstromes beim Tetanisiren mit abwechselnden Strömen 425
4. Beseitigung einiger Bedenken wider die negative Stromesschwankung beim Tetanisiren der Nerven mit abwechselnden Strömen.
   (I) Der Rückschwung der Nadel beim Tetanisiren der Nerven mit abwechselnden Strömen rührt nicht vom Hereinbrechen des erregenden Stromes in den Multiplicatorkreis her 430
   (II) Die negative Stromesschwankung beim Tetanisiren der Nerven mit abwechselnden Strömen rührt nicht vom elektrotonischen Zustande unmittelbar her. 432
   (III) Die negative Stromesschwankung rührt nicht her von dem Freiwerden von Ladungen durch den abwechselnd positiven und negativen Zuwachs im elektrotonischen Zustande 436
5. Von der physikalischen Bedeutung des Rückschwunges der Nadel beim Tetanisiren der Nerven mit abwechselnden Strömen. Er rührt nicht her von einer Zunahme des eigenthümlichen Widerstandes der Nervensubstanz, sondern von einer Abnahme der Summe der elektromotorischen Kräfte des Nerven 443

Digitized by Google

Seite

§. V.

Von dem Einflusse verschiedener Umstände auf die Gröſse der negativen Stromesschwankung beim Tetanisiren der Nerven mit abwechselnden Strömen..

Vorbericht 447
1. Von dem Einflusse der Stärke des erregenden Stromes auf die Gröſse der negativen Stromesschwankung beim Tetanisiren der Nerven . . . 450
2. Von dem Einflusse der Dauer der zum Tetanisiren der Nerven angewandten abwechselnden Ströme auf die Gröſse der negativen Stromesschwankung 457
3. Von dem Einflusse der Länge der erregten Strecke auf die Gröſse der negativen Stromesschwankung beim Tetanisiren der Nerven 459
4. Von der Erscheinungsweise der negativen Stromesschwankung bei gleichzeitiger Einwirkung zweier Ströme auf den Nerven 461
5. Von dem Einflusse des Winkels zwischen der Richtung des erregenden Stromes und der Axe der Primitivröhren auf die Gröſse der negativen Stromesschwankung beim Tetanisiren 462
6. Von dem Einflusse der Entfernung der abgeleiteten von der erregten Strecke auf die scheinbare Gröſse der negativen Stromesschwankung beim Tetanisiren der Nerven 462
7. Von dem Einflusse der Länge der abgeleiteten Strecke auf die scheinbare Gröſse der negativen Stromesschwankung beim Tetanisiren der Nerven 467
8. Von dem Einflusse des Querschnittes der Nerven auf die scheinbare Gröſse der negativen Stromesschwankung beim Tetanisiren mit abwechselnden Strömen 468
9. Von dem Einflusse der Leistungsfähigkeit der Nerven auf die Gröſse der negativen Stromesschwankung beim Tetanisiren mit abwechselnden Strömen 469

§. VI.

Von der negativen Schwankung des Nervenstromes beim Tetanisiren auf anderem als elektrischem Wege.

1. Einleitung 473
2. Beschreibung eines Multiplicators von 24160 Windungen für den Nervenstrom.
   (I) Gestell 477
   (II) Rahmen und Draht 479
   (III) Nadeln 483
   (IV) Theilung, Art der Ablesung, Vorkehrung gegen die Luftströmungen, und Hemmungen 484
   (V) Ablenkungen der Drahtmassen und ihre Berichtigung 585
3. Vorversuche mit dem Multiplicator von 24160 Windungen.
   (I) Vom Gebrauch des Multiplicators von 24160 Windungen . . . 494
   (II) Untersuchung des elektrotonischen Zustandes am Multiplicator für den Nervenstrom. Beschreibung eines eigenthümlichen, an

Digitized by Google

Seite

empfindlichen Multiplicatoren bemerkbaren Phaenomens der Nebenschliefsung, nebst einer daraus entspringenden Vorschrift für die Aufstellung solcher Multiplicatoren 496
(III) Untersuchung der negativen Schwankung des Nervenstromes beim Tetanisiren auf elektrischem Wege an dem neuen Multiplicator . 507
4. Von der negativen Schwankung des Nervenstromes beim Tetanisiren auf anderem als elektrischem Wege.
(I) Vorbemerkungen 507
(II) Tetanisiren vom Rückenmark aus durch Strychninvergiftung und mechanische oder kaustische Mifshandlung 510
(III) Tetanisiren einzelner Nervenstücke 517
(IV) Tetanisiren des Ischiadicus von seinen Hautverzweigungen aus . 520
(V) Beseitigung eines Einwurfes gegen mehrere der vorigen Versuche 522
(VI) Über die Untersuchung der negativen Stromesschwankung beim Tetanisiren auf nicht elektrischem Wege zwischen verschiedenen Punkten des Längsschnittes u. s. w. 527

§. VII.

Von der secundären Zuckung vom Nerven aus.

1. Allgemeine Darlegung der Erscheinung 528
2. Beseitigung des Verdachtes auf Schleifen des erregenden Stromes, unipolare Wirkungen oder mangelhafte Isolation 530
3. Die secundäre Zuckung vom Nerven aus rührt her von dem elektrotonischen Zustande, nicht aber von der negativen Schwankung beim Tetanisiren 532
4. Einzelheiten betreffend die secundäre Zuckung vom Nerven aus . . . 539
5. Vom secundären elektrotonischen Zustande und der secundären negativen Stromesschwankung vom Nerven aus 541
6. Von der paradoxen Zuckung 545

§. VIII.

Von einer Bewegungserscheinung des Nervenstromes, welche heftige Mifshandlungen der Nerven zu begleiten pflegt.

1. Versuche 551
2. Theorie der Stromesumkehr der thierischen Erreger 555

§. IX.

Von der physiologischen Bedeutung der negativen Stromesschwankung beim Tetanisiren der Nerven 558

§. X.

Untersuchung der Bewegungserscheinungen des Nervenstromes an verschiedenen Theilen des Nervensystemes.

1. Vorbemerkungen 569
2. Übersicht über die früheren Bestrebungen, die Frage zu entscheiden

Digitized by Google

Seite

nach der einsinnigen oder doppelsinnigen Leitungsfähigkeit der Nervenfasern für das sogenannte Nervenprincip 570
3. Thatsächliche Entscheidung der Frage nach der einsinnigen oder doppelsinnigen Leitungsfähigkeit der beiden Fasergattungen 587
4. Vereinbarung der vorigen Ergebnisse mit dem Gesetze der Zuckungen . 591
5. Ausnahmefälle vom Bell'schen Gesetze 595
6. Von dem Verhalten der Ganglienkugeln beim elektrotonischen Zustande und der negativen Stromesschwankung beim Tetanisiren 601
7. Bewegungserscheinungen des Nervenstromes an den Centralgebilden . . 603
8. Untersuchung der Bewegungserscheinungen des Nervenstromes, wenn erregte und abgeleitete Strecke an verschiedenen Theilen des Nervensystemes gelegen sind 604

Zweite Abtheilung.

Dritter Abschnitt.

Untersuchung

(Fortsetzung).

Achtes Kapitel.

Von dem Muskelstrome und seinen Bewegungserscheinungen am lebenden unversehrten Thiere.

§. I.

Seite

Von dem Strome der ruhenden Muskeln bei Gegenwart der Haut, den Hautungleichartigkeiten des Frosches und der Entwickelung des Muskelstromes scheinbar in Folge des Enthäutens.

Vorbericht 1
1. Von dem Strom an den entblöfsten Muskeln und Nerven lebender Thiere 2
2. Vom elektromotorischen Verhalten des lebenden oder todten, äufserlich unversehrten Frosches, wie auch seiner nicht enthäuteten Gliedmafsen . 7
3. Von den Ungleichartigkeiten der Hautoberfläche des Frosches 9
4. Erklärung, mit Hülfe des jetzt erkannten Gesetzes der Hautungleichartigkeiten, des elektromotorischen Verhaltens des lebenden oder todten, äufserlich unversehrten Frosches, wie auch seiner nicht enthäuteten Gliedmafsen 21
5. Von der Entwickelung des Muskelstromes nach dem Enthäuten . . . 23

Digitized by Google

Seite

§. II.

Von dem Einfluss dauernder Erkältung der Frösche auf den Muskelstrom, dem parelektronomischen Zustande der Muskeln, der besonderen Anordnung der elektromotorischen Kräfte am natürlichen Querschnitt des Muskels und der Ursache der scheinbar durch das Enthäuten bewirkten Verstärkung des Muskelstromes.

Vorbericht 26

1. Matteucci's und Cima's Angaben über die Wirkung der Kälte auf den Muskelstrom 27
2. Von der Art, die Frösche zu erkälten, und von dem Einflusse der Erkältung auf das Allgemeinbefinden der Frösche 31
3. Erste Darlegung des Einflusses der dauernden Erkältung der Frösche auf ihren Muskelstrom 35
4. Die Entwickelung des Muskelstromes nach dem Enthäuten der Gliedmafsen rührt nicht her von der Berührung der Muskeln mit der Luft . 39
5. Die Stromentwickelung an den parelektronomischen Präparaten ist die Folge des zufälligen Benetzens derselben mit der Kochsalzlösung der Zuleitungsgefäfse 43
6. Die Stromentwickelung an den parelektronomischen Muskeln in unseren Versuchen ist die Folge des Benetzens allein des natürlichen Querschnittes mit der Kochsalzlösung der Zuleitungsgefäfse oder dem Hühnereiweifs der Eiweifshäutchen 49
7. Die Stromentwickelung an den parelektronomischen Muskeln kann herbeigeführt werden durch Benetzen des natürlichen Querschnittes mit beliebigen chemisch wirksamen Flüssigkeiten, gleichviel ob leitender oder nicht leitender Art.
   (I) Verfahren, verschiedene Flüssigkeiten auf ihr Vermögen zur Entwickelung des Stromes parelektronomischer Muskeln zu prüfen . 54
   (II) Entwickelung des Stromes parelektronomischer Muskeln durch Benetzen des natürlichen Querschnittes mit leitenden Flüssigkeiten 56
   (III) Entwickelung des Stromes parelektronomischer Muskeln durch Benetzen des natürlichen Querschnittes mit nicht leitenden Flüssigkeiten 60
   (IV) Die leitenden und nicht leitenden stromentwickelnden Flüssigkeiten kommen überein darin, dafs sie die organische Substanz angreifen 62
8. Von der Stromentwickelung an den parelektronomischen Muskeln durch Anlegen von Metallen an ihren natürlichen Querschnitt 64
9. Von dem verschiedenen Verhalten des natürlichen und des künstlichen Querschnittes der Muskeln im parelektronomischen Zustande.
   (I) Darlegung der hier zu entscheidenden Fragen 73
   (II) Die Prüfung des künstlichen Querschnittes auf seinen Strom trägt nichts Merkliches bei zur Entwickelung desselben 75
   (III) Die Herstellung des künstlichen Querschnittes trägt nichts bei zur Entwickelung seiner Negativität 82
10. Physikalische Theorie des parelektronomischen Zustandes der Muskeln und der Stromentwickelung in demselben.

Digitized by Google

Seite

(I) Theorie der Stromesumkehr der aus peripolaren Gruppen dipolar elektromotorischer Molekeln zusammengesetzten Erreger . . . 87
(II) Versuche zur Bestätigung der vorigen Theorie 91
(III) Anwendung der obigen Grundsätze auf die Theorie des parelektronomischen Zustandes der Muskeln 99
(IV) Schlufsbemerkungen zur Theorie des parelektronomischen Zustandes der Muskeln 112

11. Von den Umständen, welche von Einfluſs sind auf die Bildung und Rückbildung der parelektronomischen Schicht.

Vorbericht 117
(I) Alle Muskeln aller Thiere befinden sich stets auf einer mehr oder weniger hohen Stufe des parelektronomischen Zustandes . . 119
(II) Erörterung der Verfahrungsarten, um kleine Veränderungen im Zustande der parelektronomischen Schicht nachzuweisen 125
(III) Nähere Untersuchung des Einflusses der Temperatur auf den Zustand der parelektronomischen Schicht 130
(IV) Prüfung des Einflusses einiger anderen Umstände auf den Zustand der parelektronomischen Schicht 138

12. Von dem elektromotorischen Verhalten der Muskeln im parelektronomischen Zustande bei der Zusammenziehung und von der elektromotorischen Nachwirkung des Tetanus.

(I) Von der Erscheinungsweise der negativen Schwankung bei der Zusammenziehung an den Muskeln im parelektronomischen Zustande 142
(II) Erklärung der absolut negativen Schwankung des Muskelstromes bei der Zusammenziehung im parelektronomischen Zustande . . 145
(III) Folgerungen aus dem Vorhergehenden für die Frage, ob der Muskelstrom bei der Zusammenziehung nur abnehme oder sich umkehre 148
(IV) Von der negativen Nachwirkung des Tetanisirens der Muskeln auf ihren Strom 151
(V) Von der elektromotorischen Wirkung beim Ausdehnen und Zusammendrücken der Muskeln im parelektronomischen Zustande . 158

13. Erklärung, mit Hülfe des parelektronomischen Zustandes der Muskeln, einiger älteren, fremden und eigenen Wahrnehmungen.

(I) Fremde Erfahrungen, die durch den parelektronomischen Zustand der Muskeln ihre Erklärung finden 159
(II) Widerlegung von Cima's Erklärung des Umstandes, dafs der Strom des natürlichen Querschnittes mehr als der des künstlichen unter schwächenden Einflüssen leide 166
(III) Erläuterung, mit Hülfe des parelektronomischen Zustandes, einiger früheren Punkte dieser Untersuchungen 169

14. Von der Ursache der scheinbar durch das Enthäuten bewirkten Verstärkung des Muskelstromes 173

§. III.

Von der negativen Schwankung des Muskelstromes bei der Zusammenziehung an nicht enthäuteten Gliedmafsen und am lebenden unversehrten Thier 180

Digitized by Google

Seite

§. IV.

Von dem elektromotorischen Verhalten des lebenden unversehrten Menschen.

1. Einleitung 186
2. Von dem Leitungswiderstande des menschlichen Körpers 188
3. Von Thermoströmen am menschlichen Körper.
   - (I) Von der Möglichkeit Thermoströme durch den menschlichen Körper hindurch wahrzunehmen und von Thermoströmen feuchter Leiter überhaupt 199
   - (II) Von dem elektromotorischen Verhalten zweier symmetrischen, unversehrten, gleichzeitig benetzten, und gleich warmen Hautstellen gegen einander 203
   - (III) Von dem elektromotorischen Verhalten ungleich erwärmter, sonst gleichartiger Hautstellen gegen einander 206
   - (IV) Von der Verminderung des Leitungswiderstandes der Oberhaut durch Temperaturerhöhung 212
4. Von der durch ungleichzeitiges Benetzen bedingten elektromotorischen Ungleichartigkeit der Haut des Menschen.
   - (I) Von den Ungleichzeitigkeitsströmen an verschiedenen Theilen des menschlichen Körpers und in verschiedenen Flüssigkeiten . . . 218
   - (II) Die Ungleichzeitigkeitsströme sind nicht blofs Ströme wegen verschiedener Temperatur der eingetauchten Körpertheile 226
   - (III) Fernere Betrachtungen über die Ungleichzeitigkeitsströme . . . 229
5. Von Strömen bedingt durch vorgebildete elektromotorische Ungleichartigkeiten der menschlichen Hautoberfläche.
   - (I) Versuche mit gesättigter Kochsalzlösung als Zuleitungsflüssigkeit. 231
   - (II) Erörterung der vorigen Versuche 237
   - (III) Versuche mit verdünnter Schwefelsäure als Zuleitungsflüssigkeit . 239
   - (IV) Versuche mit Brunnenwasser als Zuleitungsflüssigkeit 241
   - (V) Versuche mit Kalihydratlösung 242
   - (VI) Fortgesetzte Erörterung der in Rede stehenden Versuche . . . 243
6. Von der durch das Ausdehnen der Haut bewirkten elektromotorischen Ungleichartigkeit derselben 261
7. Von dem elektromotorischen Verhalten der Wunden gegen die Oberhaut 269
8. Von den im lebenden menschlichen Körper durch Muskelzusammenziehung hervorgebrachten Strömen.
   - (I) Einleitung 276
   - (II) Von der elektromotorischen Wirkung des willkürlichen Tetanus an den verschiedenen Gliedmafsen des menschlichen Körpers . . 282
   - (III) Von der elektromotorischen Nachwirkung des willkürlichen Tetanus an den Gliedmafsen des menschlichen Körpers 291
   - (IV) Weitere Bemerkungen über das Verfahren, die Ströme beim willkürlichen Tetanus der menschlichen Gliedmafsen zu beobachten . 294
   - (V) Versuche, um die Ströme beim willkürlichen Tetanus der menschlichen Gliedmafsen am stromprüfenden Schenkel nachzuweisen . 304
   - (VI) Geschichtliches zu den vorigen Versuchen 308
   - (VII) Über die von Despretz, Hunt, Mousson und Zantedeschi beobachteten falschen Ströme beim willkürlichen Tetanus. 321

Digitized by Google

Seite

(VIII) Betrachtungen über die Ströme beim willkürlichen Tetanus und Entwickelung einiger Bedenken gegen die Deutung derselben als Ausdruck der negativen Schwankung des Muskelstromes der menschlichen Gliedmaſsen 332

(IX) Untersuchung der negativen Schwankung des Muskelstromes an dem Unterschenkel des Kaninchens 336

(X) Der Strom beim willkürlichen Tetanus ist nicht thermoëlektrischen Ursprungs 352

(XI) Beweis, daſs der Strom beim willkürlichen Tetanus nicht auf Veränderung der elektromotorischen Kräfte der Haut beruhe . . 355

(XII) Schluſsbemerkungen über die Ströme beim willkürlichen Tetanus 373

§. V.

Von den secundär-elektromotorischen Wirkungen der Muskeln und Nerven.

1. Einleitung 377

2. Beschreibung der Versuchsweisen und Vorrichtungen.

(I) Von der Art, bei diesen Versuchen den erregenden Strom den thierischen Theilen zu- und den erregten davon abzuleiten . . 382

(II) Beschreibung der Vorrichtung zur Beherrschung der Zeit, während der die thierischen Theile dem erregenden Strom ausgesetzt werden 389

(III) Von der anzuwendenden elektromotorischen Vorrichtung . . . 395

3. Von der Polarisation an der Grenze ungleichartiger Elektrolyte.

(I) Erste Wahrnehmung einer scheinbaren Polarisation an durchströmten Bäuschen 398

(II) Die Grenze ungleichartiger Elektrolyte wird in Folge der Durchströmung zeitweise der Sitz einer secundär-elektromotorischen Kraft 402

(III) Die Substanz der Bäusche ist mit innerer Polarisirbarkeit begabt, woraus sich die mit einigen Flüssigkeiten erhaltenen doppelsinnigen Wirkungen erklären 406

(IV) Nachweis der Polarisation an nur Einer Grenze ungleichartiger Elektrolyte 412

(V) Ritter'sche Ladungssäule nur aus Elektrolyten zusammengesetzt. 414

(VI) Von der absoluten und relativen Stärke der an der Grenze ungleichartiger Elektrolyte erzeugten secundär-elektromotorischen Kräfte 415

(VII) Versuche zur Theorie der Polarisation an der Grenze ungleichartiger Elektrolyte 417

4. Erwägung der Sachlage mit Rücksicht auf die neuerkannte Polarisation an der Grenze ungleichartiger Elektrolyte, und dadurch bedingte Abänderung der zur Untersuchung der secundär-elektromotorischen Wirkungen der thierischen Theile bestimmten Vorrichtung 423

5. Von der inneren Polarisirbarkeit poröser Körper im durchtränkten Zustande.

(I) Von der inneren Polarisirbarkeit poröser unorganischer Körper . 430

Digitized by Google

Seite

(II) Von der inneren Polarisirbarkeit imbibitionsfähiger organischer, aber nicht organisirter Körper 435
(III) Von der inneren Polarisirbarkeit organisirter Körper aus dem Pflanzenreich 437
(IV) Von der inneren Polarisirbarkeit organisirter Körper aus dem Thierreich 439
(V) Einfluſs erhöhter Temperatur auf die innere Polarisirbarkeit feuchter poröser Körper 442
(VI) Von der Vertheilung der elektromotorischen Kräfte in den innerlich polarisirten Körpern, und von der Abhängigkeit der Gröſse der secundär-elektromotorischen Wirkung von den Dimensionen jener Körper 443
I. $r = \frac{L}{q} = const.$ 448
II. Maximum in Bezug auf L 451
III. Maximum in Bezug auf q 453
(VII) Von der absoluten und relativen Gröſse der inneren Polarisation, und von einem eigenthümlichen Widerstandsphaenomen, welches sich bei Beobachtung dieser Polarisation im Kreise der sie erzeugenden Säule zu erkennen giebt 456
(VIII) Nachahmung der inneren Polarisation mittelst der gewöhnlichen Ladungen metallischer oder metallisch leitender Elektroden . . 459
(IX) Erörterungen einiger hierher gehörigen Angaben Munk af Rosenschöld's 464
(X) Die innere Polarisation beruht nicht auf Erzeugung thermoëlektrischer Unterschiede durch den Strom 471
(XI) Die innere Polarisation beruht nicht auf der Gegenwart zweier Flüssigkeiten im Inneren der porösen Körper, an deren Grenzen äuſsere Polarisation stattfände 475
(XII) Übersicht des Thatbestandes der inneren Polarisation 476
(XIII) Allgemeine Theorie der inneren Polarisation 480
(XIV) Deutung einiger besonderen Umstände, welche sich bei der inneren Polarisation der feuchten porösen Körper zu erkennen geben 491
(XV) Anwendungen der Lehre von der inneren Polarisation 496

Nachwort 498
Nachträge 505
Nachweis zu den Kupfertafeln des zweiten Bandes 519

Digitized by Google

Register.

(I, II (I), II (II) bedeuten beziehlich den ersten Band, und des ersten Bandes erste und zweite Abtheilung. Die arabischen Ziffern sind die Seitenzahlen in dem Bande, oder der Bandabtheilung, welche zunächst davor stehen, die römischen hinter I die der Vorrede, die hinter N. die Ordnungszahlen der Nachträge.).

A.

Aal, Muskelstrom daran, I. 540. II (I) 145; — keine Hautströme, II (II) 16.

ABERNETHY, JOHN, Anhänger der Identitätslehre, II (I) 219.

Abgeleitete Strecke des Nerven bei Elektrotonusversuchen, II (I) 294.

Ablenkungen der astatischen Nadelpaare, *freiwillige*, I. 169—172; — II (I) 483; — *durch die Drahtmassen* des Multiplicators und deren Berichtigung, I. 175—192; — II (I) 485—494. — *Ablenkungen* durch reibungselektrische Entladungen unabhängig vom Widerstande, 412. — S. auch doppelsinnige Ablenkung.

Abriss, s. vorläufiger Abriss.

Absonderung, elektrochemische Theorie derselben, I. 26. 27; — Matteucci's Versuche darüber, 109. 111; — Donné's, 111. 112; — 488—490; — II (II) 19 Anm. 1.

Absonderungen, Elektricität derselben, II. 22; — N.

Ab- und aufsteigender Strom, definirt, I. 305.

Abwechselungen, *Voltaïsche*, I. 365. 367; — durch Marianini bearbeitet, 373 bis 376.

Aceton, dessen Leitvermögen, II (II) 61; — entwickelt den Strom des Gastroknemius, 62.

ACHARD, N. 6.

Achillessehne, deren Rolle bei der Zuckung ohne Metalle, I. 72; — 97. 384. 525; — II (II) 160—165; — bei der Parelektronomie, 53 ff.; — Endigung der Muskelbündel daran, 110.

Actenseide, *Preufsische*, deren besonderer Vorzug beim Unterbinden, II (I) 342.

ADANSON, erkennt die elektrische Natur des Zitterwels-Schlages, II (I) 216.

Adductor magnus, *M.*, vom Frosch, Strom zwischen sehnigen Enden, I. 497. 512; — Gewicht bei 1^{cm} Länge, Verhältnifszahl der Bündel, Stromstärke zwischen Längs- und künstlichem Querschnitt, 705. 712.

AEBY, II (II) 500.

AEPINUS, Theorie des Magnetes, I. 679 Anm.; — II (I) 387.

Aequator, *elektromotorischer*, eines regelmäfsigen Muskels oder eines Nerven, II (I) 253.

Aequatorialzonen peripolarer Molekeln, I. 671. 680.

Aetsmittel, deren Einfluss auf den *Muskelstrom*, II (I) 183. 184; — auf den *Nervenstrom*, 287. 288; — den Strom des natürlichen Querschnittes im parelektronomischen Zustand entwickelnd, II (II) 56—64.

Agentien, *den Muskel oder Nerven unmittelbar treffende*, deren Einfluss auf den Muskelstrom, II (I) 177—196; — auf den Nervenstrom, 286. 288.

AHRENS, s. Pfaff.

ALDINI, GIOVANNI, Rolle der Elektricität bei Absonderungen, I. 27 Anm. 1; — vermacht Galvani's Handschriften dem Institut von Bologna, 32; — giebt zu verstehen, dafs Volta Sulzer's Geschmacksversuch gekannt habe, 54. Anm.; — wirft sich zum Vorkämpfer der Lehre Galvani's auf, 59; — Versuche mit gleichartigen Bögen, besonders Quecksilber, 60. 61; — sein falsches Spiel bezüglich des Erstenrechtes Galvani's an der Zuckung ohne Metalle, 64. Anm. 1; — sein Essai . . . sur

Digitized by Google

le Galvanisme, 93—99; — hält nach Galvani's Tod und der Erfindung der Säule dessen Lehre noch immer aufrecht, 93. 94; — Werthlosigkeit seiner Versuche und Theorien, 95. 98; — verwechselt ein Capillaritätsphaenomen mit elektrischer Anziehung, 69. Anm. 1. 94. 95; — des versuchten Plagiates an Galvani überführt, 96—98; — seine thierisch-elektrischen Phantasien, 98; — Wirkung des Unterbandes in Reizversuchen, 253. Anm.; — Leitung des Stromes durch grosse Wassermassen, 567; — wahrscheinliche Rolle der Parelektronomie in seinen Versuchen über die Zuckung ohne Metalle, II (II) 159; — Ergänzung der ihn betreffenden Literatur, N. 23.

ALIBERT, Verfasser eines Éloge de Galvani, I. 38; — N. 12. 16.

Alkohol, dessen Leitvermögen, II (I) 113. (II) 61. 62; — entwickelt den Strom des Gastroknemius, ebenda; — Verhalten in Versuchen über innere Polarisation, 434. 465. 478. 491.

Allgemeiner Träger, I. 448—450.

Alterazione diretta ed inversa, altération directe et inverse Nobili's, I. 385. 394; — II (I) 386.

Alternatives voltianes ou voltaiques, s. Voltaische Abwechselungen.

AMPÈRE, astatisches Nadelpaar, I. 103; — Stromvertheilung in einem Stanniolrhombus, 564; — nimmt zwei einander durchdringende Ströme an, 592; — Moleculartheorie des Magnetes, 678; — Kunstgriff um Fernwirkungen von Kettentheilen zu verhüten, II (I) 292.

Anfrischen des Querschnittes bewirkt Hebung der Muskelstromkraft, I. 714. II (I) 19. 145. 150. 179. II (II) 108. 122; — der Nervenstromkraft, II (I) 283; — Erörterung dieses Verhaltens, II (I) 556. 557. (II) 113—115.

Anguilla vulgaris, s. Aal.

Anguis fragilis, s. Blindschleiche.

Animalische Bewegung, II (I) 198.

Aorta des Kaninchens, Strom daran, II (I) 202.

Apfelsinensaft, entwickelt den Strom des Gastroknemius, II (II) 164.

ARAGO, FRANÇOIS, Gedächtnifsrede auf Volta, I. 31; — Rotationsmagnetismus, 567; — Ausbreitung des Magnetismus von der elektromagnetisirten Strecke eines Stabes aus, umgekehrt proportional der Coërcitivkraft, II (I) 374. 375. Anm.

Aranea aëronautica, Erzeugerin des fliegenden Sommers, deren negative Elektrisirung, I. 22. 23; — N. 10.

ARISTOTELES, alle Veränderungen der Körperwelt auf Bewegungen zurückführbar, I. XXXV.

ARNOLD, FR. und J. W., wahres Verhältnifs des N. trigeminus zu den scheinbar davon versorgten Muskeln, II (I) 581.

ARNOLD, J. W., für doppelsinnige Leitung in den Nerven, II (I) 575.

Arsenwasserstoff, Einfluss auf den *Muskelstrom* nach Matteucci, II (I) 173.

Asbest, zeigt keine innere Polarisation, II (II) 433. 474.

ASCHERSON, Bau der Froschhaut, II (II) 18. Anm.; — Haptogenmembran, 63. Anm.

Astacus fluviatilis, s. Flufskrebs.

Astasie, astatisches Nadelpaar, s. Doppelnadel.

ATHENAEUS, I. 682.

Atmosphärische Elektricität, Zuckungen durch dieselbe, I. 41.

Augenblendung des Kaninchens und der Taube, Versuch, ihre elektromotorischen Wirkungen zu vergleichen, II (I) 201.

B.

Badeschwamm, innerlich polarisirbar, II (II) 433. 443.

Bäusche überhaupt, I. 221—223; — *balkenförmige, Hülfs-, Keilbäusche* u. s. f. s. diese; — mit schlechter leitenden Flüssigkeiten getränkt sind die Bäusche innerlich polarisirbar, II (II) 403. 406 bis 409.

BAILEY, Heuschreckenbeine statt der Froschschenkel, I, 458. Anm.

Balkenförmige Bäusche, II (II) 398.

Ballistisches Pendel, Ähnlichkeit mit Pouillet's Chronoskop, I. 411. 412.

BANCALARI, Wiederholung des Versuches über Nadelablenkung durch willkürlichen Tetanus, II (II) 299. 316. 317.

BARKOW, Winterschlaf, II (II) 135.

BARONIO, Säule aus Pflanzentheilen, I. 483.

Barsch, keine Hautströme, II (II) 17.

BARTHOLIN, THOMAS. Quell für angebliche Lichterscheinungen an thierischen Körpern, I. 11.

Baryterde versagt Nobili's Thonthermoströme, II (II) 201.

BASSE, Leitung des Stromes durch grofse Wassermassen, I. 567.

Baumwolle, innerlich polarisirbar, II (II) 439.

BÉCLARD, vermeintliches magnetisirendes Vermögen der Nerven, II (I) 8. 230.

Digitized by Google

Becquerel, Antoine-César, über Pouillet's angebliche Elektrisirung der Pflanzen beim Wachsthum, I. 9; — läfst die Elektricität der Zitterfische in ihrem Gehirn entspringen, 114; — elektromagnetische Wage, 197; — weshalb der elektrische Nervenreiz der stärkste von allen, 296; — Gesetz der elektrischen Empfindungen, 391; — Theorie der elektrischen Zuckungen, 393. 394; — angebliche Bewegung suspendirten Thons von der Anode zur Kathode, 395; — Bericht (mit Savary) über Masson's Versuche mit dem Neef'schen Blitzrade, 420; — Erklärung von Matteucci's Contraction induite, II (I) 15. 105; — fehlerhafte Wiederholung des Versuches über Stromerzeugung durch willkürlichen Tetanus, II (II) 311; — Mitglied der Commission d'Électro-physiologie, 320; — versucht den Strom beim willkürlichen Tetanus durch Schwitzen zu erklären, 356—360; — Walker'sche Röhren bei Flüfsigkeitsketten, 404.

Becquerel, Edmond, Nobili'sche Farbenringe, I. 568. 575—577; — Leitung der Kupfersulphatlösung, II (II) 477.

Beetz, Wilhelm, positive Polarisation des Eisens, I. 236. Anm.; — Nobili'sche Farbenringe, 377; — der Widerstand verdünnter Essigsäure hat ein Minimum, II (II) 271. Anm. 1; — Bewegtes Platin in verdünnter Schwefelsäure positiv gegen ruhendes, 326. 328; — Zusammenstellung der Beobachtungen über angeblich höhere Temperatur an der Anode, 473; — Polarisation bei erhöhter Temperatur, 495.

Bell, Charles, II (I) 570; — sein Gesetz bei elektrischer Erregung ungültig, 595—600.

Bellingeri, Elektricität des Blutes in Krankheiten, I. 24; — Zuckung ohne Metalle, 100; — schreibt fälschlich Lehot die Entdeckung des Gesetzes der Zuckungen zu, 309; — über dies Gesetz, 336. 337; — Anhänger der Identitätslehre, II (I) 224.

Bence Jones, Henry, versieht den Verfasser mit Zitterwelsen, II (II) 500.

Beraudi, Versuch Nadeln durch Nerven zu magnetisiren, II (I) 8. 229. 230.

Bergamottensaft entwickelt den Strom des Gastroknemius, II (II) 164.

Berichtigungsstab (barreau compensateur) nach Melloni, I. 190; — s. auch Melloni.

Berlinghieri, Zuckung mit gleichartigen Bögen, I. 79.

Bernstein, Julius, II (II) 500.

Bertholletia, s. Pará-Nufs.

Bertholon, das Leuchten der Blumen elektrisch erklärt, I. 7; — Elektricität des menschlichen Körpers, 11. Anm.; — hommes-torpilles, 19; — Anhänger der Identitätslehre, II (I) 217; — pflanzliche und thierische Theile nur durch ihren Wassergehalt leitend, II (II) 189.

Beruhigungsstäbchen zum Gebrauch am Multiplicator, I. 192. 235.

Berzelius, Stromvertheilung in einem Stanniolrhombus, 564; — über Lebenskraft, N. 2.

Beuger und Strecker, besitzen nach Ritter verschiedene Erregbarkeit, I. 317—321. 371.

Bevan, gegen die Identitätslehre, II (I) 240.

Bewegungserscheinungen des Muskelstromes, I. 681; — II (I) 127. 142. 155. 180; — *des Nervenstromes*, 284. 287. 550—557. — S. auch Elektrotonischer Zustand und negative Schwankung des Nervenstromes.

Bibron, s. Duméril.

Biceps, M., vom Frosch, Strom zwischen sehnigen Enden, I. 497; — Rolle bei der Präparation zur paradoxen Zuckung, II (I) 546.

Bidder, Versuch die Nn. hypoglossus und lingualis zur Verwachsung zu bringen, II (I) 572.

Bierwürze, angeblicher elektrischer Strom bei deren Gährung, I. 8.

Bimsstein, innerlich polarisirbar, II (II) 433. 477; — Wasseraufnahme von Bimsstein und Kreide verglichen, 494. 495.

Biot, Jean-Baptiste, Wiederholung von Galvani's erstem Versuch in rationeller Form, I. 34; — Zuckung ohne Metalle, 98. 99; — Streichen von Magneten, 167. Anm. 2; — Vertheilung des Stromes in nicht prismatischen Leitern, 565.

Bischoff, Theod. Ludw., Bericht über des Verfassers „Vorläufigen Abrifs", I. 538; — Versuch an einem Enthaupteten elektrische Wirkungen von den Nerven zu enthalten, II (I) 231. Anm. 236. 237.

Bittererde-Teig, innerlich unpolarisirbar, II (II) 434. 474; — nimmt auch durch Druck keine innere Polarisirbarkeit an, 479.

Blake, James, angeblicher elektrischer Strom durch den Vegetationsprocess in einem Blatt, I. 10; — beim Gähren von Bierwürze, ebenda.

Blasenpflasterwunden, Humboldt's Versuche daran, I. 284; — Versuche von Mi-

Digitized by Google

chaelis, 354; — die Wunden positiv gegen unversehrte Haut, II (II) 269 (s. auch Wundenstrom); — gegen die Mundschleimhaut, 275; — zur Beseitigung des Widerstandes der Oberhaut bei den Versuchen über die Nadelablenkung durch willkürlichen Tetanus, 304. 308. 364—370; — angebliche Umwandlung ihres Secretes durch Galvanisiren nach Humboldt, 370. Anm.

Blatt, angeblicher elektrischer Strom beim Vegetationsprocess darin, I. 10.

Blattstiele von Rheum und Angelica innerlich polarisirbar, II (II) 437; — deren elektromotorische Wirkung, 438. Anm. 1.

Blausäurevergiftung, ohne deutlichen Einfluss auf den *Muskelstrom*, II (I) 173.

Blindschleiche, *Muskelstrom* daran, I. 523.

Blitz, dessen Discontinuität, I. 41; — das Blut eines vom Blitz Erschlagenen nicht gerinnend, II (I) 160. Anm.; — mögliche Art die Richtung des Stromes darin zu bestimmen, II (II) 496; — Leichen vom Blitz Erschlagener schneller faulend, N. 35. — S. auch elektrischer Rückschlag.

Blitzrad, s. Unterbrechungsrad.

Blumen, deren scheinbares Leuchten in der Dämmerung, I. 7. 8. N. 4.

Blut, dessen angebliche Elektricität, I. 22; — Flüssigkeitskette aus Blut und Wasser, 486. 487. II (II) 274; — Blut entwickelt nicht den Strom des Gastrocnemius, II (II) 64. 70. 164.

Blutkuchen, innerlich unpolarisirbar, II (II) 436; — s. auch Faserstoff.

Boccuccia, muthmafsliche Bezeichnung des Nervenquerschnittes bei Galvani, I. 85; — II (I) 273. — S. auch N. 22.

Boetticher, Berliner Mechaniker, II (I) 341.

Boetticher und Halske, I. LII; — 200. 450. 452. 453. 457; — II (I) 121. 125. 130. 134. 135. 395. 477; — II (II) 83.

du Bois-Reymond (Félix-Henri), I. LV.

Boissier, s. Sauvages.

Boll, Franz, N. 15.

Bombinator igneus, s. Feuerkröte.

Bonijol, Verfertiger von Multiplicatoren in Genf, II (I) 249. 479. Anm.

Bonnefoy, Anhänger der Identitätslehre, II (I) 217.

Bonnet, sein Verhältnifs zur Identitätslehre, II (I) 210. 217.

Borelli, mechanische Theorie des Zitterfisch-Schlages, I. 54. Anm.; — in seinen Muskelschematis springt die Gleichbedeutung der sehnigen Enden der Muskeln mit natürlichem Querschnitt in die Augen, 538. 539.

Bowman, Bau des Muskelprimitivbündels, I. 544. 545. Anm. 664. 670.

Brachet, Abänderung von Wilson Philipp's Versuch, II (I) 212.

Brande, elektrische Theorie der Absonderungen, I. 27.

Brandis, J. D., Anhänger der Identitätslehre, II (I) 219.

Breguet, d. j., Froscharbeitsmesser, I. 281; — Induction im offenen Kreise, s. Masson.

Breschet und H. Milne Edwards, Abänderung von Wilson Philipp's Versuch, II (I) 222. 226.

Brodkrume, versagt die Nobili'schen Thonthermoströme, II (II) 202; — schwach innerlich polarisirbar, 439.

Bruch, C., Antikritik seiner Kritik der Brücke'schen Theorie der Todtenstarre, II (I) 159. Anm.

Brücke, Ernst, strychninisirte Thiere schneller erstarrend, II (I) 30. 163. 164. 172; — Theorie der Todtenstarre, 156 bis 159; — präparirt die Iris, 201; — hilft bei dem Elektrotonusversuch an beiden Enden des Nerven, 302; — mit Joh. Müller über freie Nervenendigungen in den Muskeln, 582; — Diffusion durch eine dünne Ölschicht, N. 33.

Brustgefäfs in Versuchen am menschlichen Körper, II (II) 234.

Brydone, elektrisches Frauenzimmer, I. 17. 18.

Buff, Verstärkung der Nadelablenkung durch willkürlichen Tetanus bei säulenartiger Verbindung mehrerer Personen, II (II) 299. 315; — über Pflanzenströme, 438. Anm.

Bufo agua, II (I) 590.

Bufo spec., s. Kröte.

Bullfrog, II (I) 590.

Buniva, angebliche Elektricität des Blutes, I. 24.

Bunzen, Erfinder der Froschsäule, I. 100. 105. Anm.; — behauptet die isolirende Beschaffenheit der Nervenhüllen, II (I) 276.

Bussole, Wiedemann'sche *Spiegel-*, II (II) 450.

C.

Cabanis, Anhänger der Identitätslehre, II (I) 219.

Caldani, Marco Antonio, älteste Beobachtung von Froschzuckungen durch Elektricität, I. 34. Anm. 2; — auch tetanischer, II (I) 411. Anm. 1 N. 32; — bekämpft die Identitätslehre, II (I) 214.

Digitized by Google

Caldani, Floriano, Neffe des Vorigen, Galvanist, II (I) 179. Anm. 3. N. 32. 33.
Callan, Lackiren der Aussenseite von Zinken, II (II) 397.
Capitaine, erweitert Nobili's thermoëlektrische Theorie des Froschstromes, I. 107.
Carnot, Sadi, I. XLV.
Carradori, der elektrische Geschmack bei centrifugalem Strom, I. 339.
Cartesius, s. Descartes.
Cassini, Jean-Dominique, (IV), Homme-Torpille, I. 18.
Castraten, Widerlegung ihrer angeblichen Immunität gegen den elektrischen Schlag, II (II) 190. 191 Anm. 10.
Cavendish, Lord Henry, eine Flasche schlägt schwächer als vier halb so stark geladene, I. 290; — Nachahmung der Wirkungen des Zitterrochen durch Elektricität, 563; — Gesetz der Stromverzweigung, und Ausbreitung des Stromes in nicht prismatischen Leitern, 563—564; — elektrische Natur des Zitterfisch-Schlages, II (I) 216; — der menschliche Körper viel schlechter leitend als Metalle, II (II) 189.
Cavia cobaya, s. Meerschweinchen.
Cavallo, Tiberio, Erklärung der freien Elektricität des menschlichen Körpers durch Reibung der Kleider, I. 13; — Kälte den galvanischen Reizversuchen nicht hinderlich, II (II) 30. 31. Anm. 6.
Centralnervensystem, Nervenstrom daran, II (I) 257—260; — dessen Bewegungserscheinungen, 603. 604.
Chappe, Zuckung mit gleichartigen Bögen, I. 79. — S. auch Commission.
Chemische Hypothese über den Ursprung des Volta'schen Stromes, I. 131. 132. Anm.
Chronoskop von Pouillet, I. 411. 412.
Cima, Antonio, galvanische Zuckungen minder leicht erfolgend bei Gegenwart der Centralgebilde, II (I) 563; — Muskelstrom am enthäuteten lebenden Thiere, II (II) 2; — Theorie des Muskelstromes, 6; — Muskelstrom erkalteter Frösche, 30; — vergleichsweise Stärke des Frosch- und Muskelstromes, 120—123; — angeblicher Einfluss der Temperatur auf den Froschstrom, 136; — des Ausschneidens von Herz und Lungen, 139; — Rolle der Salzlösung bei der Zuckung ohne Metalle, 160; — Fehlerhafte Erklärung des Umstandes, dass der Strom des natürlichen Querschnittes mehr als der des künstlichen unter gewissen Einflüssen leidet, 166—169; — läugnet die Nadelablenkung durch willkürlichen Tetanus, 319. 320; — N. 45.
Citronensaft, entwickelt den Strom des Gastroknemius, II (II) 164.
Clapeyron, I. XLV.
Cloëz, s. Gratiolet.
Colladon und Sturm, Einfluss des Drucks auf das Leitvermögen von Flüssigkeiten, II (I) 82. 83.
Collodium, als isolirender Überzug für Hautflächen, II (II) 221. 232. 239. 269. 273. 282. 373.
Coluber natrix, s. Ringelnatter.
Columba, s. Taube.
Commissionen, ältere elektrophysiologische der Pariser Akademie (beziehungsweise des National-Instituts): 1. zur Prüfung von Valli's Versuchen, vom Sommer 1792 (Vicq-d'Azyr, Coulomb u. A.), I. 309; — 2. für Festsetzung der Phaenomene des Galvanismus, vom Frühjahr 1797 (Coulomb, Fourcroy, Vauquelin, Hallé u. A.), I. 253. Anm. 269. 315. 365. II (I) 166. Anm. 174. 175. Anm. 5; — 3. zur Berichterstattung über Volta's Entdeckungen, vom Winter 1801/2 (Laplace, Coulomb, Hallé u. A.), I. 367. Anm. 2; — 4. zur Prüfung von Aldini's Versuchen, vom Herbst 1803 (Hallé, Biot), I. 98. 99.
Commission der Société philomatique, zur Prüfung der Versuche Galvani's und Valli's, vom Frühjahr 1793 (Chappe u. A.), I. 79, II (I) 109 Anm.
Commission d'Électro-physiologie der Académie des Sciences, zur Berichterstattung über des Verfassers Versuche, vom Frühjahr 1850 (Magendie, Becquerel, Despretz, Rayer, Pouillet), II (II) 320. — N. 51.
Compensationsmethode überhaupt, I. 243 bis 245; — bei thierisch-elektrischen Versuchen, 245—250; — Bedenken gegen ihre Anwendbarkeit zur Eliminirung des Widerstandes in solchen Versuchen, 723—728; — deren Beseitigung durch Helmholtz, II (II) 500.
Complementäre Zuckungen (unipolare), I. 431; — *Phasen* in Elektrotonusversuchen, II (I) 301. 306. 314.
Compressorium, s. Muskelcompressorium.
Comus, Elektrisirmaschine aus getrockneten Nerven, I. 11. 12; — II (I) 216; — II (II) 189.
Concentration, Ströme wegen ungleicher, I. 216.
Configliachi, Pietro, Schüler Volta's, Herausgeber seiner Abhandlung: l'Identità ec., I. 36. 93. 314. 315. Anm. 4.

Digitized by Google

Contact-Theorie des Volta'schen Stromes, I. 36. 131 Anm. 3.
Contractiles Gaumenorgan der Cyprinoïden, dessen Muskelstrom, II (I) 198. 199.
Contraction, s. Zuckung.
Contraction induite Matteucci's, s. secundäre Zuckung.
Cornelkirsche, Volta's Versuche mit deren Saft, II (II) 164.
Corrente diretta e corrente inversa, *Courant direct et courant inverse*, s. ab- und aufsteigender Strom.
Corrente propria della rana Nobili's, *Courant propre de la grenouille* Matteucci's, I. 104; — s. Froschstrom.
Cottin, Angélique, angeblich elektrischer Wirkungen fähig, I. 22. N. 9.
Cotugno, Domenico, angeblicher elektrischer Schlag von einer Maus, I. 18. 40.
Coulomb, Moleculartheorie des Magnetes, I. 679 Anm.; — s. auch Commissionen.
Créve, Galvanist in Mainz, Unterband in Reizversuchen, I. 253 Anm.; — Einfluſs erhöhter Temperatur auf die Muskelreizbarkeit, II (I) 179; — elektrischer Schläge auf dieselbe, 181. 182; — seine Schriften, N. 27.
Christiani, Arthur, s. irreciproke Leitung.
Cunningham, Anhänger der Identitätslehre, II (I) 234.
Curven, Darstellung von Vorgängen und Gesetzen in Curven, I. XXVI. N. 1.
Curven am Multiplicator: Sinuscurve der einlenkenden Kräfte des Erdmagnetismus, I. 178. II (I) 488; — (störende) Curve der ablenkenden Kräfte der Drahtmassen, I. 179. II (I) 488; — aus beiden resultirende Curve, I. 191; — Curve der berichtigenden Kräfte und neue Curve der einlenkenden Kräfte, II (I) 488 ff. — Intensitätencurve der Multiplicatoren, I. 197.
Curven bei Verbreitung des Stromes in nicht prismatischen Leitern: isoëlektrische, Strömungscurven und Curven gleicher Dichte, I. 572.
Curve der Spannweiten am Muskel, I. 695. II (I) 265.
Curve der Stromstärken am Muskel, I. 634; — am Nerven, II (I) 264.
Curve des elektrotonischen Zuwachses, II (I) 317. 318; — muthmaſslicher Verlauf zwischen den Elektroden, 327. 354.
Cutaneus femoris, M., vom Frosch, s. Rectus internus.
Cuvier, Synonymik der Froschmuskeln, I. 496—498.
Cylinder, zwischen seinen Grundflächen bei gleichem Inhalt der Körper geringsten Widerstandes, II (I) 79.
Cylindrisches Muskelschema, I. 619—640.
Cyprinus tinca, s. Schley.
Czermak, Bau der Froschhaut, II (II) 18 Anm.

D.

Dachziegel, innerlich polarisirbar, II (II) 433.
Daniell, Grenze der Polarisation des Platins, I. 239; — Einfluſs des Drucks auf den Widerstand von Elektrolyten, II (I) 82.
Darm, Strom seiner Wandungen, II (I) 200; — des Schleyes, 200. 201; — des Karpfens, 201.
Darwin, Erasmus, elektrische Theorie der Muskelzusammenziehung, II (I) 6.
Daucus carota, s. Mohrrübe.
David, vermeintliche elektrische Wirkung thätiger Nerven, II (I) 230. 231.
Davy, Humphry, schlechte Leitung zuckerhaltiger Flüssigkeiten, II (II) 61; — Leitung durch lebende thierische Substanz, 189; — wandernde Ionen nicht auf Reagenspapier wirkend, 419 Anm.
Davy, John, läugnet die saure Reaction des Krötengiftes, II (II) 17 Anm. 2. N. 46.
Deckung der Ströme, s. Superposition.
Van Deen, J., Anatomie des Wasserfrosches, II (I) 445 Anm.; — Versuch über doppelsinnige Leitung in den Nerven, 576; — bestätigt Magendie's rückläufige Empfindlichkeit, 584.
Dehnung des Gastroknemius bis zur Unbeweglichkeit bei der Zusammenziehung, Erscheinungen dabei, II (I) 68 bis 72; — Einfluſs der Dehnung auf die Muskelstromkraft, 132—134; — derselbe im parelektronomischen Zustande, II (II) 158.
Dell' Uso e dell' Attività ec., Galvani's anonyme Streitschrift gegen Volta, I. 32. 61. 62. N. 14.
Descartes, bei Haller über das Nervenprincip, II (I) 211.
Despina und Zabétula, angeblich elektrische Mädchen in Smyrna, I. 21.
Despretz, falsche Ströme beim willkürlichen Tetanus, II (II) 310. 311; — Luftströmungen unter der Multiplicatorglocke, 312; — Mitglied der Commission d'Électrophysiologie, II (II) 320.
Destillirtes Wasser, in Versuchen über innere Polarisation, II (II) 434. 465.
Diagometer von Rousseau, II (I) 111 Anm.

Digitized by Google

Dichte der freien Elektricität ($q:s$), deren Einfluſs auf die Stärke des Schlages, I. 270. 271. 289—292. — S. auch Stromdichte.
Dieckhoff, s. Joh. Müller.
Differentialinductor, I. 413. 434.
Dipolar elektromotorische Molekeln, I. 683. II (I) 322.
Discs, Bowman's, I. 544 Anm. 545.
Donné, Alexandre, elektrische Ströme bei Äpfeln, Birnen u. d. m., I. 9. 10; — II (II) 438 Anm.; — elektrochemische Strömungen zwischen sauer und alkalisch reagirenden Secretionsorganen, I. 4. 5. 26. 111. 112. 487—490. II (II) 275; — Theorie der Zuckung ohne Metalle, I. 115. 116; — bestätigt Matteucci's Contraction induite II (I) 15.
Doppelnadel, astatische, Ampère's, I. 103; — vollständig abgehandelt, 165—173; — des Nervenmultiplicators, II (I) 483. 484.
Doppelsinnige Ablenkung Poggendorff's, II (I) 44. 45. 421. 430. 439.
Doppelsinnige Leitung der Nervenfasern für das Nervenprincip, Geschichte, II (I) 570—587; — dieselbe thatsächlich erwiesen, 587—591; — Beziehung zum Gesetze der Zuckungen, 591—594.
Doppelzackenrad, ein rohes Differentialrheotom, II (I) 125.
Dove, H. W., Discontinuität der Blitze, I. 41; — Anwendung der Compensationsmethode im Gebiet der Inductionselektricität, 245; — allgemeines Gesetz der elektrischen Nervenerregung, 264; — „man fühlt die Abscisse", 270; — Versuche am Differentialinductor über magnetoëlektrische Ströme, die einander am Galvanometer, aber nicht physiologisch compensiren, 413—416; — physiologische Interferenzerscheinung, 421; — Saxton'sche Maschine, II (I) 398; — Disjunctor, 405; — Multiplicator mit langem Draht, 479.
Dreieckige Glasplatte, I. 495. 496.
Druck auf die Elektroden, dadurch erzeugte Ströme, und deren Rolle bei den fehlerhaften Versuchen über die Multiplicatorablenkung durch willkürlichen Tetanus, II (II) 321—331.
Drüsenströme, II (I) 202. 203; — 204 bis 206; — an der Froschhaut, II (II) 17. 18.
Ducros, angebliche Multiplicatorablenkungen durch geistige Vorgänge, II (II) 312.
Dugès, Synonymik der Froschmuskeln, I. 496—498; — Lymphräume des Frosches, II (II) 177.
Dumas, bestätigt Matteucci's contraction induite, II (I) 15; — s. Prévost und Dumas.
Duméril, schreibt Swammerdam einen galvanischen Versuch zu, I. 43—46; — et Bibron, Verfasser der Erpétologie générale etc. II (I) 302 Anm.
Dynamisches Gleichgewicht der Elektricität nach Smaasen, I. 571.

E.

Eckhard, C., II (II) 16. 500.
Edwards, H. Milne, s. Breschet.
Edwards, William-Frédéric, Versuch zur Unterstützung der Prévost-Dumas'schen Theorie der Zusammenziehung, II (I) 227.
Eidechse, Zuckung ohne Metalle von Humboldt daran beobachtet, I. 77; — deren Eigenstrom, 471; — Muskelstrom, 523; — Nervenstrom, II (I) 260.
Eigenstrom des Frosches nach Matteucci, I. 542; — s. Froschstrom.
Eigenstrom zwischen symmetrischen, unversehrten, gleichzeitig benetzten, gleich warmen und gespannten Hautstellen des menschlichen Körpers, II (II) 203 bis 206. 260. 376.
Eileiter vom Frosch, Strom daran, II (I) 201; — Bewegungen der Tuben, ebenda Anm.
Einschleichen in den Säulenkreis nach Ritter, I. 266. 267.
Eis zeigt keine innere Polarisation, II (II) 434.
Eiweifs (Hühnereiweifs), entwickelt schwach den Strom des Gastroknemius, II (II) 49. 54. 58. 59. 60; — geronnenes, innerlich polarisirbar, 435.
Eiweifshäutchen, I. 223.
Elastisches Gewebe, s. Aorta und Nackenband.
Elektricität von Aalen, Ratten und Katzen, I. 18; — des Blutes in Krankheiten, 24.
Elektricitätsmenge, Einfluſs auf die Stärke des Schlages der Leidener Batterie, 289—292.
Elektrische Atmosphärenwirkungen, s. elektrischer Rückschlag.
Elektrische Dame zu Orford, I. 19; — N. 8.
Elektrische Mädchen aus Smyrna, I. 21.
Elektrischer Rückschlag Lord Mahon's, erklärt Galvani's ursprüngliche Wahrnehmung, I. 33. 34; — Zuckungen von Froschmuskeln durch den Rückschlag bei Gewitter, 41.
Elektrische Schläge, deren Einfluſs auf die Reizbarkeit und den Strom der Mus-

Digitized by Google

keln, II (I) 181—182. N. 35; — der Nerven, 287.
Elektrische Sinneswahrnehmungen, s. unter den einzelnen Sinnen.
Elektrische Theorie der Secretion, s. Absonderung.
Elektrische Theorien der Muskelzusammenziehung, II (I) 8—11.
Elektrisirung der Spinnen, I. 22. 23. N. 10.
Elektrisirung, angeblich freiwillige, des menschlichen Körpers, I. 10—22. N. 6.
Elektrochemische Methode zum Nachweis der thierisch-elektrischen Ströme, I. 439—444.
Elektrochemische Strömungen zwischen Secretionsorganen, s. Absonderung.
Elektrodiffusion, II (II) 440.
Elektrolyse, ohne dieselbe keine feuchte Leitung, I. 419. II (I) 390; — galvanische Reizung erste Stufe der Nerven-Elektrolyse, 387.
Elektromagnetische Dame, II (I) 227. N. 37.
Elektromotorische Fische, I. LIV; — 25. 34; — Borelli's mechanische Theorie ihrer Wirkung, 54 Anm.; — angebliche Ähnlichkeit ihrer Schläge mit der thierischen Elektricität nach Galvani, 82; — Identificirung ihrer Organe mit der Säule durch Volta, 92; — ihre Elektricität nach Becquerel im Gehirn entwickelt, 114; — Matteucci bemächtigt sich dieser Theorie, 118. II (I) 241; — Schlag der Zitterfische nach Valentin senkrecht auf die elektrischen Nerven, I. 154 Anm.; — Methode des Anlegens metallischer Elektroden bei den elektromotorischen Fischen gestattet, 212; — warum sie nicht mit beständig wirkenden elektrischen Vorrichtungen versehen sind, 271. 272; — ihre Betrachtung führt Cavendish, Volta und Faraday zur Untersuchung der Stromvertheilung in nicht prismatischen Leitern, 563. 564. 566. 578; — Theilbarkeit des elektromotorischen Organs, 680; — elektroskopische Wirkungen der elektromotorischen Fische, 691; — Humboldt's und Gay-Lussac's Schüsselversuch, II (I) 15; — pseudoelektrische Fische, 207; — Galvani führt den Gebrauch des strompräfenden Froschschenkels bei Versuchen am Zitterrochen ein, 207; — angebliche Endschlingen in den elektromotorischen Organen, 533.
Elektromotorische Insecten und Anneliden, I. 25. 26. N. 11.
Elektromotorische Muskelmolekeln, I. 682; — ihre Kraft viel gröfser als die Muskelstromkraft, 687.
Elektroskopische Wirkungen an thierischen Elektromotoren, I. 691; — ältere Angaben meist auf Mifsverständnifs beruhend, 691. 692; — es gelingt nicht dergleichen zu beobachten, 693—694.
Elektrotonischer Zustand, der Materie überhaupt nach Faraday, I. 302; — der Nerven, erste Darlegung, II. 289—294; — nicht auf Stromschleifen beruhend, 294—298; — Nervenstrom dadurch umgekehrt, 299; — complementäre Phasen an beiden Enden des Nerven, 300—303; — bei Ableitung von Längsschnittspunkten, 304—308; — genauere Zergliederung, 308—320; — Theorie, 320—329; — weder die Muskeln noch andere feuchte Leiter zeigen Ähnliches, 329—331; — der elektrotonische Zuwachs der Stromdichte proportional, 327. 333—337. 416—423. N. 42; — wächst mit der Länge der erregten Strecke, 337—350; — Zuwachs durch zwei Ströme, 350—354; — erregte Strecke vermuthlich in der Mitte am stärksten polarisirt, 354; — bei querer Durchströmung, 354—359; — Abhängigkeit des Zuwachses von der Länge der ableitenden Strecke, 359—363; — der abgeleiteten Strecke, 363—367; — vom Querschnitt, 368—371; — relative Gröfse der Zuwachse, 371—378; — Abhängigkeit von der Leistungsfähigkeit, 379—382; — Verharren in der einen Phase stumpft gleichmäfsig die Empfänglichkeit für beide Phasen ab, 382—383; — physiologische Bedeutung des elektrotonischen Zustandes 383—389; — dieser Zustand verschieden vom Bewegung und Empfindung vermittelnden Vorgange, 385; — Erscheinungsweise bei unterbrochenem Strome, 390—412; — Elektrotonisirung des Nerven durch den eigenen Strom, 544; — elektrotonischer Zustand von einem Theile des Nervensystemes aus im anderen erzeugt, 604 bis 608; — schon bei Nobili ist von elektrotonischem Zustand der Froschpräparate die Rede, aber in anderem Sinne, N. 40; — s. ferner secundären elektrotonischen Zustand.
Elektrotonus, s. elektrotonischer Zustand.
Elfenbein, innerlich polarisirbar, II (II) 439.
Elias, Streichen von Magneten mittels des galvanischen Stromes, II (I) 484 Anm. 2.
Engelhardt's Versuch am Rückenmarke, I. 326.
Engelmann, II (II) 500.

Digitized by Google

Enthäutung des Frosches: lebende Frösche enthäutet zeigen nach Matteucci nach 6—8 Stunden einen schwächeren Strom als unversehrte, II (I) 176; — der Strom des enthäuteten Frosches nach Wiederüberziehen der Haut stärker als vor dem Enthäuten, II (II) 24; — Erklärung dieses Verhaltens, 173—179.
Entwickelnde Flüssigkeiten, d. h. solche, welche die Negativität des natürlichen Querschnittes erhöhen: II (II) 56—60, leitende; — 60—62, nicht leitende Flüssigkeiten der Art; — sie kommen darin überein, dafs sie die Muskelsubstanz angreifen, 62—64.
Epidermis, s. Oberhaut.
Erdl, elektrisches Organ des Gymnarchus niloticus II (I) 207.
Erdmolch, dessen Eigenstrom, I. 471; Muskelstrom, 523; — am Herzen, II (I) 199; — Nervenstrom, 261; — Hautströme, II (II) 16; — Reaction des Hautsecrets, 17. N. 46.
Erfrieren des Muskels, seinen Strom vernichtend, II (I) 181; — merkwürdiger Mittelzustand erfrorener Muskeln, aus welchem sie aufgethaut lebend hervorgehen, II (II) 33. N. 47.
Erman, Paul, Volumänderung der Muskeln bei der Zusammenziehung, I. 44; — über die Art, wie Volta die Säule entdeckte, 91; — Versuch die Zuckung ohne Metalle nach dem Grundsatze der Zamboni'schen zweigliederigen Säule zu erklären, 100. 101; — allgemeines Gesetz der elektrischen Nervenerregung, 263; — Zuckung durch Herstellung einer Schlinge am durchflossenen Nerven, 268; — über die subjective elektrische Gehörwahrnehmung, 285; — über das Gesetz der Zuckungen und Theorie der Öffnungszuckung, 334—336. II (I) 387; — Leitung des Stromes durch die Havel, I. 567; — Vergleich der Muskelzusammenziehung mit den elektrochemischen Bewegungen der Flüssigkeiten, Unterbrochenheit der Zusammenziehung und Muskelgeräusch, II (I) 7. (II) 387.
Erregte Nervenstrecke (bei Elektrotonusversuchen), II (I) 294.
Erscheinungsweise, allgemeine, der thierisch-elektrischen Ströme am Multiplicator, I. 234 ff.
Erschütterung polarisirter Elektroden, dadurch verursachte Ströme, s. Schüttelversuch.
Erstickung von Fröschen in ausgekochtem Wasser schwächt nach Matteucci den Muskelstrom, II (I) 175. 176.
Esox lucius, s. Hecht.
Essigaether, dessen Leitvermögen, II (II) 61; — entwickelt den Strom des Gastroknemius, 62.
Essiggeist, s. Aceton.
Essigsäure, entwickelt den Strom des Gastroknemius, II (II) 57; — als Glied von Flüssigkeitsketten, 270. 271; — ihr Leitungswiderstand, 271 Anm. 1.
Euler, Leonhard, Anhänger der Identitätslehre, II (I) 217.
Exaltation und Depression der Erregbarkeit nach Ritter, I. 370. 371.
Extensor cruris, s. Unterschenkelstrecker.
Extracurrent, s. Gegenstrom.

F.

Fabré-Palaprat, Jod elektrolytisch durch den lebenden menschlichen Körper geführt, I. 441.
Facettenförmige Endigung der Primitivmuskelbündel an den Sehnen, II (II) 58. 110.
Fäulnifs, angeblich durch Elektricität beeinflufst, I. 108.
Faraday, Michael, feste elektrolytische Action, I. 199; — Erschütterung polarisirter Elektroden, 212. 268. II (I) 190; — elektrotonischer Zustand der Materie, I. 302. II (I) 388. 389; — Jodkaliumlösung zur Bestimmung der Stromrichtung, I. 442; — Strömungscurven des Gymnotus, 566; — neigt zur Identitätslehre, II (I) 238; — Ketten aus Einem Metall und Einer ungleich erwärmten Flüssigkeit, II (II) 207 Anm.; — geschmolzener Eisessig leitet nicht, 271 Anm. 1; — elektromotorisches Verhalten bewegter Metalle gegen ruhende in verschiedenen Elektrolyten, 326. 328. N. 52; — Ausscheidung von Ionen an Luft und Wasser, 419 Anm.; — Kapsel aus Platinblech bei der Fabrication von schwerem Glas, 435.
Farbenringe Nobili's, I. 566; — deren Theorie, 568. 575—577.
Faserstoff, durch Schlagen des Blutes erhaltener, innerlich polarisirbar, II (II) 435. 436. 478; — s. auch Blutkuchen.
Fechner, Gustav Theodor, sein „Lehrbuch des Galvanismus und der Elektrochemie", I. XXIV. II (I) 229; — Elektrisirung der Spinnfäden, I. 23; — durchschaut zuerst die Wichtigkeit des Froschstromes, 107; — über Ketten aus flüssigen Leitern, 135; — Galvanometer mit auf die Windungen senkrechter Nadel, 197; — über Flüssig-

Digitized by Google

keitsketten, 204 Anm.; — Herstellung gleichartiger Platinplatten, 206; — Einfluſs des Widerstandes des Kreises auf die Kraftabnahme unbeständiger Ketten, 207; — Erschütterung polarisirter Elektroden, 212. II (I) 190; — Experimentum crucis gegen die chemische Hypothese vom Ursprung des galvanischen Stromes, I. 244. 245. 703; — Urtheil über Ritter's subjective Versuche, 342; — als Anhänger der Identitätslehre vergleicht er die Nerven besponnenen Drähten, II (I) 229. 234. 276; — Proportionalität zwischen Elektromagnetismus und Stromstärke, II (I) 420; — Multiplicator mit langem Draht, 479 Anm. 1; — Säure-Alkali-Kette, II (II) 19; — elektrisches Verhalten des Platins in saurer und alkalischer Flüssigkeit am Condensator geprüft, 331; — elektromotorisches Verhalten ungleichzeitig in Kochsalzlösung getauchten destillirten Zinks, ebenda; — Walker'sche Röhren zum Gebrauch bei Flüssigkeitsketten, (II) 404; — über Rosenschöld's Ladung von Halbleitern, 470.

Feilspäne, ein in ein Gemenge von Kupfer- und Zinkfeilspänen gebetteter Muskel stirbt bald, II (II) 68.

Feuchte Kammer, I. 217—219.

Feuerkröte, Hautströme daran, II (II) 16.

FICK, ADOLPH, unterstützt den Verfasser bei Anstellung des Tourniquet-Versuches, II (II) 361. 362; — 500.

Fingergefäſse in Versuchen am menschlichen Körper, II (II) 219.

Fische haben keine Hautströme, II (II) 16. 17.

Flache Erregerpaare, 596—616; — paradoxe Erscheinung daran, 600; — Poggendorff's Erklärung derselben, 611.

Flamme, Leitung durch dieselbe, II (I) 492. 561 Anm.

Flexoren und Extensoren, s. Beuger und Strecker.

Fliefspapier, s. Papier und Bäusche.

FLOURENS, bestätigt Matteucci's Contraction induite, II (I) 15; — vermeintliche Anziehung der Stümpfe durchschnittener Nerven, 226 Anm. 3; — Zusammenheilen von Nerven, 572.

Flüssigkeitskette aus Blut und Wasser, I. 486. 487; — aus Essigsäure und verschiedenen anderen Flüssigkeiten, II (II) 270. 271.

Fluſskrebs, Muskelstrom daran, I. 523. 524; — Nervenstrom an dessen Bauchganglien, II (I) 260; — Nervenstrom überhaupt, 261.

FÖRSTEMANN, Verfahren durch Ableitung von Stromzweigen die Stromvertheilung in nicht prismatischen Leitern zu erforschen, I. 565. II (I) 228.

FOLCHI, angebliche elektromotorische Wirkung zwischen weiſser und grauer Substanz des Rückenmarkes, II (I) 234. 235.

FONTANA, FELICE, schädlicher Einfluſs langer Dehnung der Muskeln auf ihre Reizbarkeit, II (I) 70. 71; — des Aufenthaltes im Recipienten der Compressionspumpe, 136; — gegen die Identitätslehre, 214; — bekehrt sich später zu derselben, 217; — fällt wieder ab, 218; — Fontana'sche Bänderung der Nerven, II (I) 359. 380.

FOURIER, Fundamentalgleichung für die stationäre Wärmebewegung, I. 571.

FOWLER, RICHARD, Gesteigerte Empfindlichkeit des physiologischen Rheoskopes beim Hindurchleiten des Stromes durch die Nerven, I. 252 Anm.; — hat einer der ersten die Öffnungszuckung bemerkt, 310; — Verengerung der Pupille bei elektrischer Sehnervenerregung, 353; — paradoxer Versuch, 359 Anm.; — Öl ein Nichtleiter des Galvanismus, II (I) 111 Anm. 1; — isolirende Beschaffenheit der Nervenhüllen, 275; — gegen Valli's Angabe über die Wirkung der Kälte bei galvanischen Reizversuchen, II (II) 30 Anm.; — FOWLER's Schrift im Original, N. 21.

FRANKLIN, BENJAMIN, Anhänger der Identitätslehre, II (I) 217.

Fringilla domestica, s. Sperling.

FRITSCH, GUSTAV, anatomisch-zoologische Studien über Zitterfische, II (II) 503.

Front, Zinkfront, Kupferfront der schematischen Molekelmodelle, I. 644 ff.

Frosch (*Wasserfrosch*), der Physiologie durch Swammerdam entdeckt, I. 46; — das „absolute Organ" der organischen Physik, 458. 473; — Art die Frösche aufzubewahren, trockne und nasse Methode, Froschseuche, 458. 459. II (I) 169. 170; — Leistungsfähigkeit angeblich gröſser im Süden, II (I) 34; — abhängig von der Jahreszeit, I. 256. 320. II (I) 164; — gröſste Länge von Duméril und Bibron zu klein angegeben, 302 Anm.; — Warnung vor dem Hautsecret des Frosches, II (II) 17 Anm. 2; — Einfluſs der Kälte auf den lebenden Frosch, 31—34.

Froschhaut, deren Bau, II (II) 18; — auffallende Wirkung in Pfaff's und in Joh. Müller's Versuchen über die Zuckung ohne Metalle, I. 101. 102. 476. II (II) 20; — Secret und chemische Reactionen, 17. 175; — Leitungswider-

Digitized by Google

stand verglichen mit dem von Schweinsblase, 20; — elektromotorische Wirkungen, 9—20: — innere Polarisirbarkeit, I. 381. II (II) 441.
Froschhautklemmen, I. 456. 457.
Froschhautströme, erste Wahrnehmung, II (I) 202; — weitere Untersuchung, II (II) 9—20; — verglichen mit den Menschenhautströmen, 229. 231.
Froschlarve, Muskelstrom an deren Schwanz, I. 523. 524; — kehrt sich leicht um, II (I) 154.
Froschrahmen, für Versuche am lebenden Frosche, I. 453—456.
Froschsäule, von Bunzen erfunden, I. 100; — von Nobili zur Verstärkung der Wirkung am Multiplicator angewendet, 105. 231; — von Matteucci gewohnheitsmäfsig angewandt, 231—233. 479; — an des Verfassers Vorrichtungen minder günstig wirkend, 706.
Froschschenkel, stromprüfender, Präparation, I. 254. 255; — allgemeine Regeln für dessen Anwendung, 255—258; — Art ihn aufzustellen, 449; — nach Galvani und Volta das empfindlichste Elektroskop, 51. 52. 104. 160. 251. 282. II (I) 116 Anm. 2; — Bestimmung der Stromrichtung mit dessen Hülfe, I. 396; — seine wesentliche Eigenthümlichkeit als Rheoskop, 409 bis 422.
Froschstrom, allgemeine Erklärung desselben, I. 28; — Geschichte des *Froschstromes*, 31—156; — von Nobili am Multiplicator nachgewiesen, 104; — und thermoëlektrisch erklärt, 106; — elektrochemische Theorie des *Froschstromes*, 115—117; — Strom des Gesammtfrosches, 464—466; — an einzelnen Theilen des Frosches, 468—470; — von einem *Froschstrome* zu reden hat keinen Sinn, 472; — Zuckungen durch den *Froschstrom*, 473—480; — Gesetz der Zuckungen dabei sich kundgebend, 396. 477; — Unabhängigkeit des *Froschstromes* von verschiedenen organischen Systemen, 480. 481; — ist die Resultante der Ströme der das Galvani'sche Präparat zusammensetzenden Muskeln, 518—520. 535.
Früchte, elektrische Strömungen darin, I. 9. 10.
Fruchthalter vom Kaninchen, Strom daran, II (I) 201.
Fundamentalversuche Volta's, I. 88.
Fufsgefäfse in Versuchen am menschlichen Körper, II (II) 220.
Fufspunkte des ableitenden Bogens am Muskel oder seinem Modell, I. 587; — am Nerven, II (I) 265. 309.

G.

Gad, Joh., II (II) 497 Anm.
Galvani, Lucia nata Galeazzi, Galvani's Gattin, ihr Antheil an der Entdeckung des Galvanismus, I. 38. 39. N. 16.
Galvani, Luigi, Gesammtausgabe seiner Schriften, I. 32; — sein „Commentar", 33; — Analyse desselben, 41—50; — Wirkung in der wissenschaftlichen Welt, 50. 51; — Trattato dell' Uso ec. und Supplement dazu, 61—66. N. 14; — Briefe an Spallanzani, 82; — Tod, 87; — Gedächtnifsrede von Alibert, 31. N. 12; — von Venturoli, 82; — erste Beobachtungen über Zuckungen durch vertheilte Spannungselektricität, 33—41; — durch atmosphärische Elektricität, 41; — Entdeckung des Galvanismus, 41. 42. 46—48; — Zuckung nur vom Nerven aus, 47. N. 17; — seine thierisch-elektrische (Flaschen)-Theorie, 49. 50; — der nach seiner Angabe zugerichtete Frosch das empfindlichste Elektroskop, 51 Anm. 2. 282; — entdeckt die Zuckung ohne Metalle, 62—66; — vertheidigt sie gegen Volta's Verdächtigungen, 82—87; — beobachtet allem Anschein nach Zuckung durch den Nervenstrom, 84; — Versuche am Zitterrochen, 86; — erkennt die Wichtigkeit des Hindurchleitens des Stromes durch die isolirten Nerven, 252 Anm.; — Zuckung scheinbar ohne Kettenverband, 265; — Reiben der Metalle an einander die Zuckungen hervorlockend, 269; — Unwirksamkeit querer Erregung des Nerven, 297; — Gesetz der Zuckungen, 312; — Theorie der Zusammenziehung, II (I) 6: — Tetanus schnell zugerichteter Frösche, 34; — Öl ein Nichtleiter des Galvanismus, 111 Anm.; — stromprüfender Froschschenkel bei Zitterfischversuchen, 207; — Galvani der Urheber der Lehre von einer isolirenden Hülle der Nervenröhren, 275; — wahrscheinliche Rolle der Parelektronomie in seinen Versuchen über die Zuckung ohne Metalle, II (II) 159. 160; — Galvani's Arbeit über die Vogelniere, N. 13.
Galvani'*sches Froschpräparat*, I. 33. 35. 60. 254; — dessen Strom, 466—468; — das ächte und das unächte Galvani'sche Präparat unterschieden, 467. II (II) 369.
Galvanismus, dessen Geschichte, I. 31, und N. 12.
Galvanometer, s. Multiplicator.

Digitized by Google

Ganglien, Nervenstrom daran, II (1). 260; — elektrotonischer Zustand und negative Schwankung sich durch sie fortpflanzend, 601—603.
GARDINI, angebliche freiwillige Elektrisirung des menschlichen Körpers, I. 13.
Gasarten, (O, H, N, CO_2, N_2O) ohne Einfluss auf den Muskelstrom, II (1) 184 bis 187.
Gastroknemius, M., vom Frosch, zuerst eingeführt, I. 493; — Synonymik 497; — Strom zwischen sehnigen Enden, ebenda und 512; — Bau, 501; — am besten geeignet um die negative Schwankung bei der Zusammenziehung zu studiren, II (1) 49; — Bau des Gastroknemius genauer beschrieben, (II) 349—352.
GAUB, angebliche freiwillige Elektrisirung des menschlichen Körpers, I. 17.
GAUSS, Dauer verschieden grofser Schwingungen der Magnetnadel, I. 190; — Ablenkung durch dieselbe Elektricitätsmenge bei verschwindender Dauer von dieser unabhängig, 410; — mit W. Weber, Magnetometer, 197.
GAVARRET, Geschichte des Galvanismus, N. 12.
GAY-LUSSAC, mit Humboldt, Schüsselversuch am Zitterrochen, II (1) 15. 105.
Gefühl, elektrisches, hält während des Kettenschlusses an, I. 283; — Steigerung zu Anfang und zu Ende des Stromes, 285. 286; — dessen Gesetz im Sinne des Gesetzes der Zuckungen, 354—358.
Gegenstrom, Anfangs- und Endgegenstrom in der primären Rolle der Inductorien Ursache der stärkeren physiologischen Wirkung des Endnebenstromes, II (1) 405. 406.
Gehirn, s. Centralnervensystem.
Gehörserscheinung, elektrische, hält während des Kettenschlusses an, I. 284. 285; — gröfsere Stärke zu Anfang des Stromes, 286; — ihr Gesetz im Sinne des Gesetzes der Zuckungen, 343—345.
Gelenke, hauptsächlich Sitz des Schmerzes beim elektrischen Schlage, hypothetische Erklärung dieser Thatsache, I. 286.
Geruch, elektrischer, hält während des Kettenschlusses an, I. 285; — gröfsere Stärke zu Anfang und zu Ende des Stromes nicht sicher nachgewiesen, 287; — dessen Gesetz im Sinne des Gesetzes der Zuckungen, 343.
Geschmack, elektrischer, von Sulzer und Volta entdeckt, I. 48. 53. 54; — hält während des Kettenschlusses an, 284; — gröfsere Stärke zu Anfang und Ende des Stromes zweifelhaft, 287. 288; — Erörterung ob er von den an den Metallen angesammelten Zersetzungsstoffen herrühre, ebenda Anm. und 379; — dessen Gesetz im Sinne des „Gesetzes der Zuckungen", 339—343.
Gesetz der Abnahme des Muskelstromes nach dem Tode, II (1) 148—154; — richtige Reihefolge der vier Wirbel thierklassen in Bezug darauf, 163; — *des Nervenstromes*, 282—286.
Gesetz des Absterbens der Nerven nach Valli und Ritter, I. 254. 321. 322; — von Matteucci auf die elektrischen Empfindungen übertragen, 322. 323.
Gesetz der elastischen Dehnungen fester Körper von Hooke und s'Gravesande, II (1) 66; — der thierischen Gewebe nach Wertheim, ebenda.
Gesetz der elektrischen Empfindungen, I. 338—358; — s. die einzelnen Sinne; — vereinigtes Gesetz der elektrischen Zuckungen und Empfindungen, 359—362. II (1) 593.
Gesetz, allgemeines, der elektrischen Nervenerregung, I. 258—262; — daraus sich erklärende Thatsachen aus älterer und neuerer Zeit, 262—272; — Möglichkeit einer genaueren Prüfung desselben, 272—274. 408; — Gestalt des Gesetzes für die Sinnesnerven, 283 bis 293; — Einfluss der absoluten Dichtigkeitsgrenzen, zwischen welchen die Schwankung vor sich geht, 293—295; — der Länge der durchkreisten Nervenstrecke, 295. 296; — des Winkels zwischen der Strömungsrichtung und der Axe des Nerven, 300; — Ähnlichkeit des Gesetzes mit dem der Induction, 300—303; — Vervollständigung des mathematischen Ausdruckes des Gesetzes, N. 28.
Gesetz, elektromotorisches Volta's, I. 70. 73.
Gesetz des Muskelstromes, I. 498—518; — formulirt, 515—517; — zu dessen Geschichte, 527—552; — vervollkommnete Auffassung und Untersuchung desselben, 624—631; — graphische Darstellung, 634.
Gesetz des Nervenstromes, II (1) 251—254; — formulirt, 261—263; — feinere Züge, Erörterung des Gesetzes, 264 bis 268; — Herleitung aus der Molecularhypothese, 268—271.
Gesetz der Spannweiten des ableitenden Bogens am Muskel, I. 631; — vergl. Curve der Spannweiten.
Gesetz der Zuckungen, allgemeiner Ausdruck desselben, I. 304. 307; — Entdeckung durch Pfaff, XX. 307—313; —

Digitized by Google

Ritter's Arbeiten darüber, 313—333; — fernere Bestätigungen, 333—338; — Marianini's vereinigtes Gesetz der elektrischen Zuckungen und Empfindungen, 359—362; — Nobili's Zuckungsgesetz, 363. 364; — Matteucci's, 391 bis 400; — Longet's und Matteucci's verkehrtes Zuckungsgesetz an vorderen Wurzeln und Rückenmarkssträngen, 400—402; — Erörterung des verkehrten Gesetzes, 403 — 408; — Vereinbarung des Gesetzes der Zuckungen mit der doppelsinnigen Leitung in den Nerven, II (I) 591—594.

Gesichtserscheinung, elektrische, von Volta entdeckt, I. 55; — hält während des Kettenschlusses an, 284; — gröfsere Stärke zu Anfang und zu Ende des Stromes, 287; — deren Gesetz im Sinne des Gesetzes der Zuckungen nach Ritter, 345—350; — von Purkinje studirt, 350—352.

Gewebe, thierische, elektromotorisch gleichartig, s. Gleichartigkeit; — innerlich polarisirbar, II (II) 439—442.

Gherardi, Silvestro, Herausgeber von Galvani's Werken, I. 32; — vertheidigt Galvani wegen seiner Unkenntnifs des elektrischen Rückschlages, 35. 36; — unwürdige Parodie der Inschrift unter einem Bildnifs Volta's, 36 Anm.

Gierlichs, F. A., Antikritik seiner Kritik der Brücke'schen Theorie der Todtenstarre, II (I) 158 Anm.

Glatte Muskeln, s. Magen, Darm, Augenblendung u. A.

Gleichartigkeit, elektromotorische, der sich mit natürlichen Flächen berührenden Gewebe, I. 481. 532 Anm. 2. II (I) 207. (II) 161.

Gleichgewicht, dynamisches, der Elektricität im stationären Zustand der Strömung, I. 571; — *labiles* der astatischen Nadelpaare auf der Nulllinie der Multiplicatorgewinde, 176 ff.

Glimmer, zur Isolirung der Muskeln und Nerven auf den Bäuschen, I. 628. 631. 697; — *gefensterte Glimmerblättchen*, 629. II (I) 200.

Godigno, Pater, Kircher's Gewährsmann für die Nachricht über den Zitterwels, N. 15.

Goethe, Erklärung des angeblichen Leuchtens der Blumen, I. 8. N. 4; — in Bologna in den Tagen, wo der Galvanismus entdeckt wurde, I. 42.

Goodsir, versieht den Verfasser mit Zitterwelsen, II (II) 500.

Gottsched, I. lxix; — Herausgeber von Hausen's Novi Profectus etc., II (I) 211 Anm. 2.

Gourjon, Verfertiger von Multiplicatoren in Paris, I. 119. 162. 166. 168. 185.

Gracilis, M., vom Frosch, s. Adductor magnus.

Graduirung der Multiplicatoren, I. 197. 198.

Granatapfel, sein Saft entwickelt den Strom des Gastroknemius, II (II) 164.

Grapengiesser, Natur der subjectiven elektrischen Gehörwahrnehmung, I. 285.

Grasfrosch, Zuckung ohne Metalle daran von Humboldt beobachtet, I. 77; — Froschstrom daran, 470; — Muskelstrom 523; — Nervenstrom, II (I) 261; — Hautsecret, N. 64.

Gratiolet, mit Cloëz, Hautsecret von Salamander und Kröte, N. 46.

s'Gravesande, Elasticitätsgesetz, II (I) 66.

Gren, angebliche freiwillige Elektrisirung des menschlichen Körpers, I. 13.

Grenouille rhéoscopique Matteucci's, s. stromprüfender Froschschenkel.

Grimaldi'*sches Muskelgeräusch*, II (I) 7. N. 6.

Grotthuss, Theodor v., Theorie der Elektrolyse, I. 236. II (I) 322. 323. (II) 418; — Ausscheidung von Ionen an den Grenzen einer Capillarspalte, I. 440 Anm. 2.

Grove, Gasbatterie, I. 237; — II (I) 186.

Grove'*sche Elemente*, I. 446; — fünfziggliederige Grove'*sche Säule*, II (II) 396.

Gruithuisen, Franz von Paula, Gefühlstäuschungen nach geheilten Nervenwunden, II (I) 572.

Günther und Schön, Verheilung von Nerven, II (I) 573.

Guérard, die elektrische Nervenerregung mit der Länge der durchflossenen Nervenstrecke wachsend, I. 296. II (I) 560 Anm.; — quere Erregung des Nerven unwirksam, I. 298; — mit Longet, Abtrocknen des Nerven die elektrische Erregbarkeit schwächend, II (I) 276; — Theorie der elektrischen Nervenerregung bei Annahme isolirender Nervenhüllen, 277, 278; — Guérard und Longet hatten vielleicht schon elektrotonische Zuwachse vor Augen, 293 Anm. 328.

Gusserow, Anhänger der Identitätslehre, II (I) 234.

Gymnarchus niloticus, Fisch mit elektrischem Organ, II (I) 207.

Gyps, versagt die Nobili'schen Thonthermoströme, II (II) 201. 471. 496; —

Digitized by Google

vor dem Erstarren nicht polarisirbar, 432. 478. 479; — aber nach dem Erstarren, ebenda und 493.
Gyrotrop, s. Stromwender.

H.

Haare, durch Reibung elektrisch, I. 9. N. 7.
Häkelhaken, knöcherner, zum Handhaben der Nerven, II (I) 343.
H-förmige Anordnung in Polarisationsversuchen, II (II) 408. 424. 428. 429. 430. 431. 435. 436. 439.
H-förmige Guttapercharinne, zu Polarisationsversuchen, II (II) 429. 430. 431. 432.
Haggren, das Leuchten der Blumen elektrisch erklärt, I. 7. 8.
des Hais, elektrische Theorie der Muskelzusammenziehung, II (I) 5; — einer der Väter der Identitätslehre, 210. 213.
Hales, Stephen, erklärt durch Elektricität die durch Wimpern erzeugten Bewegungen leichter Körper, I. 22 Anm. 2; — s. auch II (I) 212.
Hallé, s. Commissionen.
Haller, über die elektrische Theorie der Muskelzusammenziehung, II (I) 5; — Anfänge der Identitätslehre und Kritik derselben, 210—215; — huldigt der mechanischen Theorie des Zitterfisch-Schlages, 216.
Halske, Magnetelektromotor, II (I) 393; — Berichtigung der Ablenkungen durch die Drahtmassen, 491; — Polarisationswippe, II (II) 389; — s. auch Boetticher und Halske, und Siemens und Halske.
Handgefäfse in Versuchen am menschlichen Körper, II (II) 219.
Handgelenkgefäfse, zur Ableitung des Stromes von den Blasenpflasterwunden auf den Handgelenken, II (II) 365.
Haptogenmembran, II (II) 63.
Harless, Emil, Zuckungen durch Erschütterung polarisirter Elektroden, I. 269. 270; — Bestätigung von Engelhardt's Versuch am Rückenmarke, 326; — scheinbar isolirende Beschaffenheit der Nervenhüllen, II (I) 276. (II) 500.
Harn, negativ elektrisirt nach Vassali-Eandi, I. 22; — befördert die Zuckung ohne Metalle nach Volta, I. 72. II (II) 163; — entwickelt den Strom des Gastroknemius, 164.
Harnblase vom Schwein, nahm scheinbar keine innere Polarisation an, I. 380; — deren Leitungswiderstand verglichen mit dem der Froschhaut, II (II) 20; — *vom Kaninchen*, Strom daran, II (I) 201.
Harnleiter des Kaninchens, Strom daran, II (I) 201.
Hastings, führt Wilson Philipp's Versuchsplan aus, II (I) 221.
Hausen, Christian August, Urheber der Identitätslehre, II (I) 210—212.
Haut, s. Froschhaut und Menschenhaut.
Hautabsonderung der Frösche, ihre Giftigkeit und saure Reaction, II (II) 17. N. 46; — wirkt entwickelnd auf die Negativität des natürlichen Querschnittes, 175.
Hautströme, s. Froschhaut, Menschenhaut, Fische.
Hecht, elektrotonische Phasen und negative Schwankung an dessen Sehnerven, II (I) 604; — zeigt keine Hautströme, II (II) 17.
Hefe, schwach innerlich polarisirbar, II (II) 439; — s. auch Bierwürze.
Heidemann, angebliche Zuckung ohne Metalle, I. 100; — Bestimmung der galvanischen Spannungsreihe mittels des Frosches, 333; — die Nerven nicht besser leitend als andere Gewebe, II (II) 191.
Heidenhain, Rudolph, II (II) 500.
Helix pomatia, s. Weinbergsschnecke.
Helmholtz, Erhaltung der Kraft, I. S. xlv; — Kupfer in Kupfersulphat-, Silber in Silbernitrat- oder Cyansilberkaliumlösung noch polarisirbar, II (I) 149; — Froschseuche, 169; — Magnetelektromotor, 395. 421; — Graduirung der Multiplicatoren, 486 Anm. 493 Anm.; — Wärmeentwickelung bei der Muskelaction, 354. 355; — Superposition der Ströme, (II) 469; — seine Theorie beseitigt die Bedenken gegen die Anwendbarkeit der Compensation in thierisch-elektrischen Versuchen, 500; — — Einführung der autographischen Methode in den physiologischen Versuch, N. 1.
Hemmer, angebliche freiwillige Elektrisirung des menschlichen Körpers, I. 13; — besondere Leitungsgüte der Nerven, II (II) 190.
Hemmungen am 90°-Punkt der Multiplicatoren, I. 202. II (I) 485.
Henrici, Polarisation durch den Schlag der Leidener Flasche, I. 238. II (I) 391; — Einfluss erhöhter Temperatur auf den Widerstand von Elektrolyten, 83 Anm.
Henle, über Todtenstarre, II (I) 160 Anm.; — Bau der Arterienhaut, 202;

Digitized by Google

— mit Kölliker über die Pacini'schen Körperchen als muthmaſslich elektrische Organe, 240. 241. N. 36; — Wärmegefühl in Schmerz übergehend, 551; — über doppelsinnige Leitung in den Nerven, 575—585; — Fall von örtlichem Schweiſsausbruch, mit Giesker, (II) 358.

HERBERT, besondere Leitungsgüte der Nerven, II (II) 189. 190.

HERSCHEL, Sir WILLIAM, Anhänger der Identitätslehre, II (I) 219.

Herz, dessen Muskelstrom, II (I) 199.

Heuschreckenbeine als Surrogat für Froschschenkel, I. 458 Anm.

Hirn, s. Centralnervensystem.

HIRSCHMANN, Mechaniker in Berlin, I. 202.

HITTORF, Leitung des Selens, II (II) 493 Anm.

Hoden, Strom daran, II (I) 203.

Hof der elektromotorischen Molekeln, I. 687. 716.

HOFFMANN, N. 8.

HOLLAND, Fall von örtlichem Schweiſsausbruch, II (II) 358.

HOLTZMANN, I. XLV.

Holz, verschiedener Art, innerlich polarisirbar, I. 380. II (II) 381. 438. 439. 448.

Holzgeist, dessen Leitvermögen, II (II) 61. 62; — entwickelt den Strom des Gastroknemius, ebenda.

Holzkohle, in den galvanischen Ketten die Rolle eines negativen Metalls spielend, I. 55. 56. 61. 68. 69. 70. 85. 100. 109; — ihr Leitvermögen, II (II) 459 ff.; — mit einem Elektrolyten getränkt dient sie zur Nachahmung der Erscheinungen der inneren Polarisation, I. 380. II (II) 380. 439. 459—463.

HOME, EVERARD, elektrische Theorie der Absonderungen, I. 27; — Zuckung ohne Metalle, 100; — Zurückziehung durchschnittener Nerven, II (I) 226 Anm. 3.

Hommes-Torpilles, I. 17—22.

HOOKE, ROBERT, Elasticitätsgesetz, II (I) 66.

Horn, innerlich polarisirbar, II (II) 441.

Hornmesser, als isolirende Schneidewerkzeuge, II (II) 83.

Hülfsbäusche, I. 223. 507. II (I) 551. (II) 10; — erster und zweiter Ordnung, 12. 13. 76.

Hülfsgefäſse, II (II) 207.

Huhn, Muskelstrom daran, I. 540. II (I) 146.

HUMBOLDT, ALEXANDER VON, „Versuche über die gereizte Muskel- und Nervenfaser u. s. w." I. 76; — vertheidigt gegen Volta die Zuckung ohne Metalle, 76. 77; — Zuckung durch gleichartige Bögen (Quecksilber), 78—81; — Unterband in Reizversuchen, 253 Anm.; — Zuckung scheinbar ohne Kettenverband, 265; — zum allgemeinen Gesetz der elektrischen Nervenerregung, ebenda; — Versuche an Blasenpflasterwunden, 284; — gegen Lichtenberg's Erklärung des Andauerns des elektrischen Geschmacks während des Kettenschlusses, 287. 288 Anm. 2; — elektrische Nervenerregung mit der Länge der durchflossenen Nervenstrecke wachsend, 209. II (I) 559 Anm; — Unwirksamkeit querer Erregung des Nerven, I. 297; — der elektrische Geschmack bei centrifugalem Strom, 339; — bestätigt Matteucci's contraction induite, II (I) 15; — mit Gay-Lussac, Schüsselversuch am Zitterrochen, ebenda und 105; — Öl als Verbindungsglied in Reizversuchen, 111 Anm.; — HUMBOLDT als Anhänger der Identitätslehre, 219; — die Flamme ein Isolator für den Metallreiz, 561 Anm.; — Kälte die Leistungen des Herzens, der Nerven und Muskeln herabsetzend, II (II) 30. 31 Anm. 6; — in Como Zeuge von Volta's Versuch mit Cornelkirschen, 163; — seine Lehre von den integrirenden Reizen zurückführbar auf Zerstörung der parelektronomischen Schicht, 165; — die schlechte Leitung der Oberhaut veranlaſst ihn zu seinen Blasenpflasterversuchen, 191; — tritt als Zeuge für den Strom durch willkürlichen Tetanus auf und stellt selber den Versuch an, 308. 309. 311. 312; — angebliche Umwandlung des Secrets der Cantharidenblasen durch Galvanisiren, 368. 370 Anm.; — zur Literatur von HUMBOLDT's hierher gehörigen Schriften, N. 20.

Hund, Muskelstrom daran, I. 540. 543.

HUNT, ROBERT, falsche Ströme beim willkürlichen Tetanus, II (II) 312. 313. 321.

Hydrophan, innerlich polarisirbar, II (II) 433. 478. 493.

Hydrothermoströme, II (II) 496.

Hyla arborea, s. Laubfrosch.

I.

Identitätslehre des Nervenprincips und der Elektricität, deren Geschichte, I. 6. 11. 48. II (I) 209—251. N. 36.

Immobilisirung des Gastroknemius, s. Dehnung.

Digitized by Google

Inducirte Zuckung (contraction induite), s. secundäre Zuckung.
Induction, formelle Ähnlichkeit ihres Gesetzes mit dem der Nervenerregung, I. 300—303. 307. 417. N. 28; — die Induction überdauert scheinbar Schliefsung und Öffnung des primären Kreises, 424—428. N. 30; — keine Induction auf Nerven durch elektrische Ströme oder Magnete, II (1) 23. 24 Anm. — S. auch unipolare Inductionszuckungen.
Inductorium, Beschreibung des während der ersten Zeit vom Verfasser gebrauchten, I. 446. 447; — die Öffnungsschläge der Inductorien physiologisch wirksamer als die Schliefsungsschläge, II (1) 405. 406; — s. auch Magneteletromotor.
Ingenhousz, Leuchten der Blumen, I. 8; — Anhänger der Identitätslehre, II (1) 217.
Insecten, angeblich elektromotorische, I. 25. N. 11.
Insectennadeln, zum Feststecken des Nerven, II (1) 342.
Integrirende Reize Humboldt's, II (II) 165. N. 49.
Intensitätencurve der Multiplicatoren, I. 197.
Inversor, Poggendorff's, I. 447. 448. II (1) 44. 46. 48.
Ionen, an thierischen Theilen ausgeschieden, I. 379. 440. 490; — an den Grenzen einer capillaren Spalte, 440 Anm. 2.
Iris, s. Augenblendung.
Irreciproke Leitung, N. 44.
Ischiadicus, N., vom Frosch, Art ihn zuzurichten, I. 255. II (1) 251. 252; — dessen Verzweigung, 445. 521 Anm.; — Art sie für die paradoxe Zuckung zu präpariren, 546.
Isoëlektrische Curven und *Flächen*, I. 571.
Izarn, angebliche elektroskopische Wirkung von zugerichteten thierischen Gliedern, I. 692.

J.

Jacobi, Moritz, Schliefsungsfunken, I. 315; — scheinbare Grenze für die Kleinheit der Zeit, deren der Strom zu seiner Herstellung bedarf, 419; — Widerstand des Erdbodens, 567; — Einfluss des Drucks auf den Widerstand von Elektrolyten, II (1) 82. 83; — s. auch Lenz.
Jäger'*sche Figuren* durch Ungleichartigkeit scheinbar gleichartiger Metallflächen, I. 613. II (II) 67.
Jallabert's Versuch, II (1) 240.
Jecquer'*scher Kitt*, I. 643 Anm. N. 31.
Jobert, angebliche Anziehung eines Fadens durch Hirn und Rückenmark, II (1) 237.
Jodkaliumelektrolyse, von Matteucci durch den Froschstrom angeblich ohne Metalle erhalten, I. 120. 124. 152. 440; — durch den Muskelstrom mit einer Säule aus zwanzig halben Oberschenkeln und Platinspitzen, 443. — S. auch secundärer Jodfleck.
Jodkaliumstärkebrei, Anwendung nach Faraday, I. 442; — scheinbare Erhöhung seiner Empfindlichkeit durch salpetrige Säure, ebenda; — merklich zersetzt durch den Strom zweier Gastroknemien, 443. 493.
Jordan, H., bei einem vom Blitz Erschlagenen waren die Muskeln starr, das Blut nicht geronnen, II (1) 160 Anm.

K.

Kämpz, trockene Säulen aus thierischen und pflanzlichen Stoffen, I. 483.
Käse, Schweizer, innerlich unpolarisirbar, II (II) 436.
Kalkstein, Rüdersdorfer, innerlich polarisirbar, II (II) 433. 478. 493.
Kammförmige Curve der auf die Zeit bezogenen Muskelstromkraft im Tetanus, II (II) 145. 306. 307.
Kaninchen, Strom in dessen Beinen, I. 471; — Zuckung ohne Metalle daran, 478; — Muskelstrom, 507—509. 523. 533. 544. 545. II (1) 144. 161; — an Iris, Uterus, Ureter, Harnblase, Aorta, Sehnen, Drüsen, 201—203; — Nervenstrom, 260; — negative Schwankung am präparirten und am unversehrten Unterschenkel, II (II) 336—352.
Kant, I. xxxviii.
Karsten, Gustav, versucht mit dem Verfasser vergeblich, elektroskopische Zeichen von einer Froschsäule zu erlangen, I. 693.
Kartoffel, innerlich polarisirbar, II (II) 438.
Kauffmann, Verfertiger von Multiplicatoren in Solothurn, I. 188.
Kautschukringe, zur Befestigung des Frosches im Froschrahmen, I. 454.
Keilbäusche, II (II) 425.
Keimen, angeblicher Einfluss der Elektricität darauf, I. 109.
Kielmeyer, der elektrische Geschmack bei centrifugalem Strom, I. 339; — Anhänger der Identitätslehre, II (1) 217.

Digitized by Google

KIRCHER, ATHANASIUS, erste Wahrnehmung von Muskelzuckungen durch Elektricität (den Schlag der Zitterfische) I. 34 Anm. 2. N. 15.
KIRCHHOFF, GUSTAV, Durchgang des Stromes durch eine Ebene, I. 569; — Wheatstone'sche Brücke, II (I) 500; — Hautströme an seinen Händen, (II) 232; — Fertigkeit im Tetanisiren eines Armes, 295. 301; — hilft beim Tourniquet-Versuch, 361—362.
Klebäther, s. Collodium.
KLEINER, Mechaniker in Berlin, I. 162. 165; — sein Verfahren zum Berichtigen der Ablenkungen durch die Drahtmassen, 187. 190. II (I) 489; — Zuleitungsgefäfse, I. 213. II (I) 302; — Poggendorff's Inversor, I. 447; — Behrens'sches Elektroskop, 692; — Muskelspanner, II (I) 67; — Multiplicator mit langem Draht, 479; — Multiplicator in Giessen, (II) 296. 315.
KLÜGEL, Anhänger der Identitätslehre, II (I) 217.
KNOBLAUCH, HERMANN, stellt mit dem Verfasser einen schematischen Versuch zur Erklärung der Widerstandszunahme des frei zuckenden Muskels an, II (I) 80.
Knochen, Ströme daran, II (I) 202; — angeblich gute Leitung derselben, II (II) 190, — innerlich polarisirbar, 489.
KNOCHENHAUER, Wheatstone'sche Brücke, II (I) 500.
Knochenstücke des Gastroknemius und der regelmäfsigen Oberschenkelmuskelgruppe, I. 496. II (I) 67. 68. 86.
Knorpel, Polarisationserscheinungen daran, II (II) 439. 440.
Kochsalzlösung, als Flüssigkeit zur Ableitung der thierisch-elektrischen Ströme, I. 215—217; — durch Anätzen des Rückenmarkes das Galvani'sche Präparat tetanisirend, 230. 467. 474; — entwickelt den Strom des Galvani'schen Präparates und des Gastroknemius, II (II) 43 ff.; — Polarisation an der Grenze von Kochsalzlösung und anderen Elektrolyten, 398 ff.; — Ladungssäule aus abwechselnd mit Kochsalzlösung und Schwefelsäure getränkten Pappscheiben, 414; — mit Kochsalzlösung getränkt zeigen Thon und Papier keine innere Polarisirbarkeit, 409. 431.
KÖLLIKER, Endigung der Muskelbündel an den Sehnen, II (II) 110; — s. auch Henle.
Kohle, s. Holzkohle.
Kohlensäurevergiftung nach Matteucci ohne Einfluss auf den Muskelstrom II (I) 175.
Kolophoniumkitt, I. 643 Anm. N. 31.
Kraft, deren Erhaltung, I. XLIV.
Krankhafte Zustände der Frösche, deren Einfluss auf den Muskelstrom, II (I) 168—171; — auf den Nervenstrom, 287; — den elektrotonischen Zuwachs, 380; — die negative Schwankung, 469.
Kreide in destillirtem Wasser gesotten, nur schwach, in Kalihydratlösung gesotten, stark innerlich polarisirbar, II (II) 432. 474. 478. 495; — Wasseraufnahme von Kreide und Bimsstein verglichen, 494. 495.
Kreosot, dessen Leitvermögen, II (II) 61; — entwickelt den Strom des Gastroknemius, 62. 162.
Kröte, deren Eigenstrom, I. 470; — Muskelstrom, 523; — Hautströme, II (II) 16; — Reaction des Hautsecrets, 17 Anm. 2. N. 46.
KRONECKER, LEOPOLD, Behandlung einer Maximum-Aufgabe aus dem Gebiet der inneren Polarisation, II (II) 489. 490 Anm.
KRONENBERG, über Magendie's rückläufige Empfindlichkeit, II (I) 584.
Krystalle von Kupfer- und Zinksulphat zeigen keine innere Polarisation, II (II) 432. 434.
Ktenoïde, s. kammförmige Curve.
KÜHNE, W., II (II) 500.
KÜRSCHNER, Versuch über doppelsinnige Leitung in den Nerven, II (I) 576. 577.
Kupfer der Multiplicatordrähte, über dessen Eisengehalt, I. 164. 175. 185.
Kupfer in Kupfersulphatlösung zur Ableitung der thierisch-elektrischen Ströme, I. 217; — noch Ladungen annehmend, II (I) 149.
Kymographion, N. 1.

L.

Lacerta agilis, s. Eidechse.
Ladungen metallischer Elektroden, s. Polarisation; — Peltier'sche *Ladungen thierischer Theile*, I. 376. 377. — S. auch secundär-elektromotorische Erscheinungen.
LAMÉ, Magnetstäbe in der Mitte am stärksten polarisirt, II (I) 354.
Länge des Muskels, deren Einfluss auf die Stärke des Muskelstromes, I. 694 bis 698. 715. 716; — *des Nerven*, deren Einfluss auf die Stärke des Nervenstromes, II (I) 266. 267.
Länge der erregten Nervenstrecke, deren Einfluss auf die elektrische Nervenerregung, I. 295. 296. II (I) 559 bis 561 Anm.; — auf den elektrotonischen Zuwachs, 350.

Digitized by Google

Längsschnitt des Muskels definirt, I. 501; — natürlicher, ebenda; — künstlicher, 505; — Darstellung des letzteren, II (I) 97.
LAGHI, TOMMASIO, Gegner von Haller's Irritabilitäts- und Anhänger der Identitätslehre, II (I) 214.
LAGRAVE, angeblich am Frosch wirksame Säule aus Muskelfleisch, Gehirn und Filz, I. 483.
LARREY, Anhänger der Identitätslehre und der Lehre von der isolirenden Beschaffenheit der Nervenhüllen, II (I) 226. 276.
Laubfrosch, Zuckung ohne Metalle daran von Humboldt beobachtet, I. 77; — dessen Froschstrom, 470; — Nervenstrom, II (I) 261; — Hautströme, II (II) 16.
LAVOISIER, I. XLIV.
LAYMANN, Anwendung der Induction auf die Nervenphysik, II (I) 238. 240.
Lebenskraft, Kritik der Lehre von derselben, I. XXXIV—L. N. 2; — vitalistische Theorieen der Todtenstarre aus den vierziger Jahren, II (I) 158. 160 Anm.
Leber, Strom daran, II (I) 202. 203; — innerlich polarisirbar, II (II) 441.
LECAT, bekämpft die Identitätslehre, II (I) 214.
Leder, innerlich polarisirbar, II (II) 441.
Lehm (Töpferlehm), innerlich polarisirbar, II (II) 432. 493.
LEHOT, Zuckung mit gleichartigen Metallbögen, I. 99. 100; — ohne Kettenverband, 265; — verstärkter elektrischer Geschmack bei Öffnung der Kette, 287 Anm. 2; — gilt fälschlich für den Entdecker des Gesetzes der Zuckungen, 309. 315. 336; — Theorie der Öffnungszuckung, ebenda und 376; — falsche Erklärung des verschiedenen elektrischen Geschmacks bei beiden Stromrichtungen, 340.
Leichenhand, deren Hautströme, II (II) 211. 212. 226. 232. 246. 269. 278.
Leim, innerlich unpolarisirbar, II (II) 436; — mit Messingspänen erfüllt Schema eines innerlich polarisirbaren Körpers, 464.
Leiter erster und zweiter Klasse nach Volta, I. 70. 73; — dritter Klasse, 92. 93.
Leitungswiderstand einiger Metalle, I. 144 Anm. 1; — der Metalle im Allgemeinen verschwindend gegen den der Elektrolyte, I. 563. 564; — des menschlichen Körpers durch willkürlichen Tetanus nicht verändert, II (I) 75; — der Muskeln bei der Zusammenziehung, wächst am freien, sinkt am immobilisirten Muskel, II (I) 78—82; — der Elektrolyte vom Druck abhängig, 82. 83; — der Öle, 111 Anm. 1, 2; — der Nerven, 233. 235. 237. 245. 247; — des Neurilemms, 275; — der Nerven bleibt unverändert beim Tetanisiren, 444—446; — der Gewebe von ihrem Wassergehalt abhängig, II (II) 189; — des menschlichen Körpers, II (I) 75 Anm. II (II) 188—199; — durch Temperaturerhöhung der Haut vermindert, 212; — der Essigsäure, 271 Anm. 1; — der Kohle, 459 ff.; — krystallisirter und amorpher Substanzen, 493. — S. auch secundären Widerstand.
LEMBERT, angebliche Anziehung eines Fadens durch einen Nerven II (I) 237.
LENZ, silberner Multiplicator, I. 185; — Grenze der Polarisation des Platins, 239; — mit JACOBI, Proportionalität zwischen Elektromagnetismus und Stromstärke, II (I) 420; — mit PTSCHELNIKOFF, Widerstand des menschlichen Körpers, 75 Anm. (II) 192—199.
Lepus cuniculus, s. Kaninchen.
LEROUX, saure Reaction des Krötengiftes, II (II) 17 Anm. 2.
Leuchten der Blumen in der Dämmerung, I. 7. 8. 352. N. 4; — *der Augen*, von Pallas für elektrisch gehalten, I. 12 Anm. 3.
LICHTENBERG, erklärt das Andauern des elektrischen Geschmacks während des scheinbaren Kettenschlusses durch die Unbändigkeit der Zunge, I. 288 Anm.; — LICHTENBERG'sche Figuren zum Nachweis der Induction im offenen Kreise, 423.
LIEBIG, JUSTUS VON, über Lebenskraft, I. XXXVII.
Ligamentum nuchae, s. Nackenband.
LIND, Zuckung mit gleichartigen Bögen, I. 79.
LINDNER, Gehülfe bei den Versuchen am menschlichen Körper, II (II) 264. 361. 366. 367.
LINNÉ, Fräulein von, Leuchten von Blumen, I. 7. 8.
Lois du courant musculaire Matteucci's, nicht einerlei mit unserem Gesetz des Muskelstromes, I. 527.
LONGET, mit Matteucci, verkehrtes Gesetz der Zuckungen an den motorischen Wurzeln und vorderen Rückenmarkssträngen, I. 400—402; — über Wilson Philipp's Versuch, II (I) 222. 223; — vergebliche Wiederholung von David's Versuch, 231 Anm.; — über Lembert's und Jobert's Angabe einer elektrischen Anziehung der Nerven, 237; — mit Matteucci, vergeblicher Versuch elektrische Wirkungen vom Ischiadicus eines lebenden Pferdes zu erhalten,

Digitized by Google

248. 249; — Grundprincip der Nervenphysik, 546; — läugnet Magendie's rückläufige Empfindlichkeit, 584; — fehlerhafte Versuche an den vorderen und hinteren Wurzeln, 598.

LOTZE, HERMANN, über Lebenskraft, I. XXXIV; — über die Elektricität in der Medicin, 16.

LUDWIG, CARL, gegen Valentin, I. XXIII; — führt die autographische Methode in den physiologischen Versuch ein, N. 1.

Luftleere, ohne Einfluſs auf den Muskelstrom, II (I) 187—192; — auf den Nervenstrom, 288.

Luftströmungen, unter der Glocke der Multiplicatoren, I. 193—196. II (I) 485.

Lumbricus terrestris, s. Regenwurm.

Lunge, Strom daran, II (I) 202. 203; — innerlich polarisirbar, II (II) 441.

Lymphe, wirkt nicht entwickelnd auf den Muskelstrom, II (II) 64.

Lymphräume, des Frosches, II (II) 177.

M.

Magen, Muskelstrom seiner Wandungen: Muskelmagen der Taube, II (I) 199. 200; — Magen des Frosches, 200.

MAGENDIE, folgt Nobili's thermoëlektrischer Theorie des Froschstromes, I. 107; — Pupillenverengerung auf elektrischen Reiz, 353; — Einfluſs des N. trigeminus auf die Ernährung des Augapfels, II (I) 575; — Rückläufige Empfindlichkeit (sensibilité récurrente), 583; — Mitglied der Commission d'Électrophysiologie, II (II) 320.

Magnesia, s. Bittererde.

Magnetelektromotor, Neef's, II (I) 48 Anm.; — Schlittenmagnetelektromotor des Verfassers zuerst beschrieben, 393. 394 Anm. 1; — der von Helmholtz bei seinen Versuchen über die Wärmeentwickelung durch die Muskelaction angewendete, 395.

Magnetismus der sogenannten nicht magnetischen Metalle, I. 185.

Magnetometer, I. 197. 488. II (I) 235. (II) 192.

MAGNUS'*scher Halter*, II (II) 220. 241.

MAHON, Viscount, später Earl of Stanhope, der elektrische Rückschlag, I. 84.

MANDL, vermeintliche Bewegungen der Nerven der Blutegel, II (I) 226 Anm. 3.

MARCHIANDI, beansprucht für Puccinotti und Pacinotti die Priorität der Nadelablenkung durch willkürlichen Tetanus, II (II) 318. 319 Anm. 3.

MARIANINI, allgemeines Gesetz der elektrischen Nervenerregung, I. 263; — objectives Seitenstück zu Ritter's Einschleichen in den Säulenkreis, 267; — Schwankung der Stromdichte hinreichend um Zuckung zu bewirken, 267. 268; — Vergleich der Nervenerregung mit der Induction, 300; — schreibt fälschlich Lehot die Entdeckung des Gesetzes der Zuckungen zu, 309; — über dies Gesetz, 337. 338; — vereinigtes Gesetz der elektrischen Zuckungen und Empfindungen, 359—362. II (II) 347; — seine idiopathischen und sympathischen Zuckungen nichts anderes als Zuckungen bei unmittelbarer und mittelbarer Reizung, I. 361. 362; — Kritik von Matteucci's Theorie der Zuckungen, 391. 392; — Ré-électromètre für instantane Ströme, 418; — die Induction angeblich das Schlieſsen und Öffnen des primären Kreises überdauernd, 426. N. 30.

Marmor zeigt keine innere Polarisation, II (II) 433. 494.

MARTENS, positive Polarisation des Eisens, I. 236.

MARTINS, CHARLES, Zerschlitzen der Baumstämme durch Tromben, II (II) 496. 497.

MASSON, führt das Neef'sche Blitzrad in Frankreich ein (roue de Masson) I. 279. 420; — angebliche Grenze der Zahl der Stromunterbrechungen beim Tetanisiren, 420; — mit Breguet d. J., Induction im offenen Kreise, 423. 424. II (I) 7; — Tetanus der Vorderarme durch das Blitzrad, 38.

Mathematik, über deren Anwendung in der Physiologie, I. XXV—XXXIV.

MATTEUCCI, CARLO, seine Art der wissenschaftlichen Veröffentlichungen, I. XXI. 112—113; — atmosphärische Elektricität in Wäldern, I. 9; — fehlerhafter Bericht über Galvani's Handschriften, 35 Anm. 1; — ebenso über Cotugno's Vorfall mit der Maus, 40 Anm.; — angeblicher Einfluſs der Elektricität auf Fäulniſs, 108; — elektrochemische Theorie der Absonderungen, 109; — angeblicher Einfluſs der Säule auf den Keimungsprocess, ebenda; — angebliche künstliche Verdauung durch Elektricität, 109. 110; — falsche Deutung der Donné'schen Ströme zwischen Absonderungsorganen, 111. 112. 487; — seine Arbeiten über den Froschstrom bis zu denen des Verfassers, 115—122; — geschichtliches Verhältniſs dieser beiderseitigen Arbeiten zu einander, 122—124; —

Digitized by Google

Matteucci von der Pariser Akademie gekrönt, 123 Anm. 5; — sein eigentliches Verdienst in Betreff des Froschstromes, 124—126; — Literatur seiner Aufsätze bis 1845, 126—128; — über astatische Doppelnadeln, 165; — schlechte Vorschrift zu deren Herstellung, 167. 168; — giebt bei thierisch-elektrischen Multiplicatorversuchen irrigerweise der Methode des Anlegens den Vorzug vor der des Eintauchens, 213; — wendet verschiedene zuleitende Flüssigkeiten an, 216. 229; — sein neueres Verfahren, 227; — Froschsäule, 231. 233. 246. 247; — unverstandene Anwendung der Methode der Compensation, 245—247; — Grenouille rhéoscopique, 254; — mifskennt das allgemeine Gesetz der elektrischen Nervenerregung, 281. 282; — sinnloser Versuch, ein elektrochemisches Kraftäquivalent zwischen dem erregenden Strom und der Arbeitsgröfse des Muskels aufzustellen, 275 bis 282; — unzureichender Versuch über den Einfluss der absoluten Stromdichte auf die elektrische Nervenerregung, 294. 295; — Einfluss der Länge der durchflossenen Nervenstrecke auf dieselbe, 296; — quere Erregung des Nerven unwirksam, 297. 298. 299; — schreibt fälschlich Valli, Lehot, Bellingeri, Marianini und Nobili die Entdeckung des Gesetzes der Zuckungen zu, 309. 392; — angebliche Erfolge durch Nobili's elektrisches Heilverfahren bei Tetanus, 382—385; — Gesetz und Theorie der Zuckungen, 391 bis 400; — dessen Umkehr an den motorischen Wurzeln und vorderen Rückenmarkssträngen, mit Longet, 400—402; — sinnloser Versuch über Jodkaliumelektrolyse ohne Metalle durch den Froschstrom, 440; — Jodkaliumelektrolyse durch eine Muskelsäule, 443; — fehlerhafte Anwendung des ächten Galvani'schen Präparates als Typus der thierischen Elektromotore, 467; — Zuckung ohne Metalle am Kaninchen, 478; — Kette aus Blut und Wasser, 486. 487; — Muskelstrom am Menschen, 524 Anm. II (II) 4. 5; — erste Wahrnehmung der Negativität des Muskelinneren, I. 527—532; — es gelingt ihm nicht die Bedeutung der Sehne als des natürlichen Querschnittes zu entziffern, und dadurch den Froschstrom auf einen allgemeinen Muskelstrom zurückzuführen, 539—541. II (I) 244; — sinnlose Anwendung der Bowman'schen Lehre über den Bau der Muskelbündel, I. 545. 548. 683. 684; — versucht trotzdem dem Verfasser die Entdeckung des Gesetzes des Muskelstromes streitig zu machen, 542—547; — Zurechtweisung, 547 bis 552; — elektromotorisches Muskelmodell, 684. II (II) 5. 6; — Funken durch den Zitterrochenschlag, 691; — angebliche Zeichen von Spannung an einer Froschsäule, 692; — Einfluss der Gröfse der Muskelmasse auf die Stromstärke, 698—703; — Versuche, elektrische Erscheinungen bei der Muskelthätigkeit nachzuweisen, II (I) 11—14; — secundäre Zuckung (contraction induite) vom Muskel aus, 14—25; — keine secundäre Zuckung vom Nerven aus, 21. 529; — läugnet die negative Schwankung des Muskelstromes bei der Zusammenziehung, 28—30; — Tetanus schnell zugerichteter Frösche, 33; — erster Gebrauch des Wortes „Tetanisiren", 38; — Tetanisiren durch rasch wiederholtes Schliefsen und Öffnen des Kreises, 39; — verwirft des Verfassers Erklärung der secundären Zuckung, und nimmt eine neue Art von Fernwirkung an, 99—116; — bleibt aber schliefslich stehen bei der Annahme einer Entladung ähnlich der der Zitterfische, 116—118; — Stärke, Dauer und Abnahme des Froschstromes und des Muskelstromes bei verschiedenen Thieren, 143—147; — schreibt sich die Entdeckung des Einflusses der Stromdichte auf die Elektrolyse zu, 149; — freiwillige Umkehr des Stromes absterbender Muskeln, 155; — stärkerer Strom entzündeter Muskeln, 170. 171; — Angaben über das Verhalten des Muskelstromes nach Vergiftung mit Opium, Strychnin, Blausäure, Arsen- und Schwefelwasserstoff, Stickoxyd und Kohlensäure, sowie nach Erstickung, Verblutung und Enthäutung, 172 bis 176; — Einfluss erhöhter Temperatur auf den Strom, 178. 179; — Wirkung von Ätzmitteln auf den Muskelstrom, 183. 184; — von Sauerstoff, Wasserstoff und Luftleere, 192—195; — Muskelstrom am Herzen, 199; — Drüsenströme, 202. 203. 204. 205; — elektrisches Organ des gemeinen Rochen, 207; — vergebliche Bemühungen, elektrische Wirkungen von den Nerven zu erhalten, 241—251. 273; — mit Longet, 249. 495; — das Nervensystem angeblich besser leitend in abals in aufsteigender Richtung, 245 Anm. 2. 328; — galvanische Zuckungen

Digitized by Google

minder leicht erfolgend bei erhaltener Verbindung mit den Centralgebilden, 248. 563; — Muskelstrom am enthäuteten lebenden Thiere. II (II) 2—7; — Muskelstrom erkalteter Frösche, II (II) 27—30; — vergleichsweise Stärke des Frosch- und Muskelstromes, 120—123; — angeblicher Einfluſs der Temperatur auf den Froschstrom, 136; — der Erstickung und Verblutung, 139; — Abtragen der Achillessehnen-Ausbreitung bringt die Zuckung ohne Metalle zum Vorschein, (II) 162. 163; — angebliche Hebung des gesunkenen Stromes älterer Präparate bei Befeuchtung, 169; — Wiederholung des Versuchs über Stromerzeugung durch willkürlichen Tetanus, 314. 315; — Weiteres zu der ihn betreffenden Literatur, Nachricht von seinem Tode, N. 24.

MAUDUYT, Leitungsgüte des Nerven, II (II) 190.

Maus, ertheilt angeblich Cotugno einen elektrischen Schlag, I. 18. 40; — Zuckung ohne Metalle daran von Humboldt beobachtet, 77; — Eigenstrom der Maus, 471; — Muskelstrom, 523. II (I) 161; — am Herzen, 199; — Nervenstrom, 260.

MAYER, JOHANN, Übersetzer von Galvani's Commentar, I. 33; — und von Volta's ersten thierisch-elektrischen Arbeiten, N. 18.

MAYO, HERBERT, Einfluſs des N. trigeminus auf die Ernährung des Augapfels, II (I) 573.

Meerschweinchen, Muskelstrom daran, I. 523. II (I) 161; — Strom am Herzen, 199; — Nervenstrom, 260.

MEISSNER, GEORG, II (II) 500.

MEISSNER, älterer Wiener Arzt, elektrische Theorie der Muskelzusammenziehung, II (I) 5. 6. 10. 234.

MELLONI, Berichtigung der Ablenkungen durch die Drahtmassen, I. 185. II (I) 486—490. 492. 494; — über die Schwankungen der Gleichgewichtslage astatischer Doppelnadeln, I. 193.

Mensch, angebliche freiwillige Elektrisirung, I. 13—22. N. 6; — Muskelstrom am Tibialis anticus eines Amputirten, I. 523; — Nervenstrom an den Nerven desselben Beines, II (I) 260. 261; — Leitungswiderstand des menschlichen Körpers, (II) 188—199; — Hautstrom des Menschen, s. Menschenhaut; — über die Ströme durch willkürlichen Tetanus, s. negative Schwankung am menschlichen Körper.

Menschenhaut, deren elektromotorische Ungleichartigkeiten. *A.* Zwischen symmetrischen Körperstellen: bei ungleicher Erwärmung, II (II) 206; — ungleichzeitiger Benetzung, 218; — ungleicher Dehnung, 261; — Verletzung der einen Stelle (Wundenstrom), 268; — ungleichem Schwitzen, 358. 368; — Abwesenheit aller dieser fünf Umstände (Eigenstrom, s. d.), 203. — *B.* zwischen asymmetrischen Körperstellen in Kochsalzlösung: Strom von der Handsohle in die Hand zum Handrücken, 231. 232; — von der Hand zur Brust, 233—235; — von der Fuſssohle zum Fuſsrücken, 235; — zwischen Hand und Fuſs, 236; — dieselben Versuche in verdünnter Schwefelsäure, 239. 240; — Brunnenwasser, 240—242; — Kalihydratlösung, 242. 243; — Erörterung dieser Versuche: es ist nicht möglich zwischen zwei den Thatbestand gleich vollständig erklärenden Hypothesen zu entscheiden, 243—261; — Menschenhaut als Polarisationsobject, II (II) 441.

MEYEN, Leuchten der Blumen, I. 8.

MEYER, G. H., für doppelsinnige Leitung in den Nerven, II (I) 575.

MEYER, JOSEPH, Lymphsystem der Amphibien, II (II) 177.

MICHAELIS, PHILIPP, Gesetz der Zuckungen, I. 312. 313; — an Blasenpflasterwunden der elektrische Schmerz stärker bei austretendem Strom, 354. 355. 368 Anm. 1.

Milz, Strom daran, II (I) 203; — innerlich polarisirbar, II (II) 441.

MITSCHERLICH, CARL GUSTAV, Tetanus durch NH_3-Salze und Na Cl, II (I) 35; — tetanisirte Thiere früher erstarrend, 163. 164.

MITSCHERLICH, EILHARD, von Alex. v. Humboldt als Zeuge für den Strom durch willkürlichen Tetanus angerufen, 311. 312.

Modificationen der Erregbarkeit durch geschlossene Ketten, 365—372.

Mohrrübe, innerlich polarisirbar, II (II) 438; — von Querschnitt zu Querschnitt aufsteigend wirksam, ebenda Anm.

Molecularhypothese über die Ursache der elektromotorischen Erscheinungen der Muskeln, erste Darlegung, I. 671. 672; — schematische Versuche zu deren Prüfung, 672—677; — allgemeine Betrachtungen, 677—683; — II (I) 127 bis 129; — Anwendung auf den elektrotonischen Zustand, 322—327; — auf die Stromumkehr der thierischen Erreger, 155. 555—557; — Anwendung auf den parelektronomischen Zustand, II (II) 87—117.

Digitized by Google

Monro, elektrischer Geschmack ohne metallische Berührung der Zunge, I. 287 Anm. 2. 379.
Mormyrus, Nilfisch mit elektrischem Organ, II (1) 207.
Most, die elektrische Gesichtserscheinung während des Kettenschlusses andauernd, 284; — stärker bei im Sehnerven aufsteigendem Strome, 354; — Erection durch den aufsteigenden Strom, 356; — sinnlose Angaben über die Wirkung der Elektricität auf Katzen, ebenda, Anm.; — Lähmung durch den absteigenden Strom, 367. Anm. 1.
Mousson, Albert, falsche Ströme beim willkürlichen Tetanus, II (11) 299. 313. 314. 321 ff.
Müller, Johannes, fordert den Verfasser auf, Matteucci's Versuche über den Froschstrom fortzuführen, I. v; — Erklärung von Cotugno's angeblicher Beobachtung an einer Maus, I. 18; — Zuckung ohne Metalle und merkwürdige Rolle der Haut dabei, 101. 102. II (11) 20; — Widerlegt mit Dieckhoff Matteucci's künstliche Verdauung durch Elektricität, I. 110. II (1) 223; — Frösche am reizbarsten im Frühling und Herbst, I. 256. II (1) 164; — allgemeines Gesetz der elektrischen Nervenerregung, I. 264; — quere Erregung des Nerven wirksam, 297; — Zange zur Öffnung des Wirbelcanals des Frosches, 460; — Bericht über des Verfassers „Vorläufigen Abriss", 545; — vertritt des Verfassers Erklärung der contraction induite Matteucci's, II (1) 27; — quergestreifte Bündel im contractilen Gaumenorgan der Cyprinoïden, 198; — versucht elektromotorische Wirkungen vom gemeinen Rochen zu erhalten, 207; — mit Dieckhoff, Widerlegung des Wilson-Philippschen Versuches, II (1) 222. 223; — sucht vergeblich Beraudi's und David's Angaben zu bestätigen, 230. 231. Anm.; — Erklärung einer Angabe Matteucci's, 237; — Vermuthung über den Nervenstrom als Resultante zweier Componenten, 254; — läugnet secundäre Zuckung vom Nerven aus, 520. 545. 546; — über doppelsinnige Leitung in den Nerven, 571—575; — mit Brücke, über freie Nervenendigungen in den Muskeln, 582; — Wurzelversuche, 598; — über die Vogelniere, N. 13; — die Identitätslehre, N. 36; — das Hautsecret der Frösche, N. 46; — Ure's Versuche, N. 53.
Müller, William, angebliche Entwickelung von Spannungselektricität durch Muskelanstrengungen, II (1) 11.
Multiplicator, elektromagnetischer, von Nobili, I. 103; — von Gourjon, 119 und N. 26; — von Schröder (Kauffmann), I. 131. 188; — von Ruhmkorff, II (1) 248; — von Bonijol, 249; — Vergleich seiner Empfindlichkeit mit der des stromprüfenden Froschschenkels, I. 104. 160. 161; — Beschreibung des ersten vom Verfasser angewendeten Multiplicators, später Multiplicator für den Muskelstrom oder Muskelmultiplicator genannt, 162—202; — Museumsmultiplicator, 202. 426. II (1) 207. 302. 372. 409; — Multiplicator mit kurzem Draht, 203; — Regeln für Aufstellung eines Multiplicators für thierisch-elektrische Versuche, I. 173. 174; — silberne Multiplicatoren, 185; — Graduirung des Multiplicators, 197. 198; — Versuch zur Bestimmung seiner absoluten Empfindlichkeit durch Elektrolyse, 198—201; — Nervenmultiplicator, II (1) 474—494; — Aufzählung der 1849 bekannten Multiplicatoren mit langem Draht, 479. Anm.; — Kunstgriffe bei Herstellung des Gewindes von 24 160 Umgängen, 478—483; — Nadeln, Theilung u. s. w., 483—485; — Empfindlichkeitsproben daran, 492; — mit Thermoströmen bei Einschaltung des menschlichen Körpers, II (11) 200; — unipolare Ablenkungen nöthigen zur sorgfältig isolirten Aufstellung eines solchen Multiplicators, 496 ff.
Munk, s. Rosenschöld.
Munk, Hermann, II (11) 500.
Murray, John, entdeckt die negative Elektrisirung frischer Spinnfäden, I. 22. 23.
Mus musculus, s. Maus.
Museumsmultiplicator, s. Multiplicator.
Muskelbündel, deren Bau nach Bowman, I. 544. 545. Anm. 664—670; — Endigung an der Sehne, II (11) 58. 110.
Muskelcompressorium, senkrecht auf die Faser, II (1) 135—137. (11) 158; — der Faser parallel, II (1) 137—138. (11) 158.
Muskelgeräusch von Roger beschrieben, N. 6.
Muskelgruppe der regelmässigen Oberschenkelmuskeln, Adductor magnus, Semimembranosus und Biceps, erste Anwendung, II (1) 86.
Muskelmultiplicator, s. Multiplicator.
Muskelschemata, elektromotorische, das cylindrische, I. 561—563; — Theorie der Strömung daran, 577—585; — derjenigen in dem angelegten Bogen, 585—596; — Versuch der experimentellen Bewährung: Störungen durch

Digitized by Google

die Polarisation, (s. flache Erregerpaare) 596—618; — Versuche am einfach cylindrischen Schema, 619 bis 624; — Bedenken wider dies Schema, 635—640; — Schema aus mehreren Stäben, 658—661; — Theorie desselben, 640—658; — Molecularschema, 672—677; — dessen Strom wächst mit der Leitungsgüte des Elektrolyten, II (I) 84; — Schema des parelektronomischen Muskels, II. 90. 98.

Muskelspanner, s. Streckvorrichtung.

Muskelstrom, ältere Wahrnehmungen, 72. 73. 86. 87; — an einzelnen frei zugerichteten Muskeln, 491—494; — Gesetz des Muskelstromes, s. dieses; — durch die Thierreihe verfolgt, 523; — Nachweis an einem einzigen Primitivmuskelbündel, 554. 555; — Nerven und Bindegewebe spielen bei seiner Erzeugung keine Rolle, 556—558; — er geht vom Innern des Primitivmuskelbündels aus, 558—560; — Einfluss der Zusammenziehung, II (I) 3—129; — der Ausdehnung und Zusammendrückung, 129—140; — Umkehr beim Absterben, 155; — die Todtenstarre seine zeitliche Grenze, 156—165; — Einfluss verschiedener Umstände auf den Muskelstrom parallel gehend dem Einfluss derselben Umstände auf die Leistungsfähigkeit der Muskeln, 165 bis 196; — Umkehr durch Siedhitze, 180; — er rührt nicht her von den intramuscularen Nerven, 274. 275; — am enthäuteten lebenden Thiere, II (II) 2—7; — am äusserlich unversehrten Frosche, 7—9; — Erklärung, mittels der Hautströme, der dabei auftretenden Unregelmäfsigkeiten, 21—23; — scheinbare Entwickelung des Stromes nach dem Enthäuten, 23—26; — parelektronomischer Zustand, s. diesen; — Strom der ruhenden Muskeln am lebenden menschlichen Körper nicht darstellbar, 233. 237. 238. 245. 283. 284. 286.

Myographion, N. 1.

N.

Nachwirkung des Tetanus auf den Muskelstrom, II (II) 151—158; — am lebenden menschlichen Körper bei willkürlichem Tetanisiren, 291—294.

Nackenband, elektromotorische Wirkung nach Art des Muskelstroms, II (I) 202; — nimmt scheinbar positive Polarisation an, I. 381. II (II) 441.

Nadelpaar, s. Doppelnadel.

NAPOLÉON, als Erster Consul, ehrt Volta, I. 92; — Anhänger der Identitätslehre, II (I) 219.

Narkotische Gifte, deren Einfluss auf den Muskelstrom (bei unmittelbarer Einwirkung), II (I) 182. 183; — auf den Nervenstrom, 287.

NASSE, HERMANN, angebliche freiwillige Elektrisirung des menschlichen Körpers, I. 15.

NASSE, d. J., quere Erregung des Nerven minder wirksam, I. 297.

Nebenschliefsung zur Einführung beliebiger Stromzweige in den Multiplicatorkreis, zuerst angewendet, II (I) 441. 442.

NEEF, Blitzrad, I. 279. 420; — Magnetelektromotor, 393; — Lichterscheinung am Wagner'schen Hammer, 419.

Negative Schwankung, s. Schwankung.

Nerven, deren Leitvermögen, II (I) 233. 235. 237. 245. 247; — nach Matteucci gröfser in auf- als in absteigender Richtung, 245 Anm.; — in des Verfassers Versuch in beiden Richtungen gleich, 378. 379; — bleibt scheinbar beständig bei Thätigkeit der Nerven, 444—447; — Nerven besponnenen Drähten verglichen, 226. 229; — Kritik dieser Vorstellungsweise, 275—282. 348—350.

Nervenmultiplicator, s. Multiplicator.

Nervenprincip, s. Identitätslehre und doppelsinnige Leitung.

Nervenschlingen, angebliche Endigungsweise der Nerven in den Muskeln, II (I) 7. 8. 224. 581 ff.

Nervenstrom, Zuckung scheinbar durch denselben erzeugt, I. 84. 85; — erste Anzeige, II (I) 203. 204; — allgemeine Beschreibung, 251—254; — an motorischen und sensibeln Nerven, 254 bis 256; — am Sehnerven, 256. 257; — am Centralnervensystem, 257—260; — an den Bauchganglien des Krebses, 260; — am Grenzstrang der Schildkröte, ebenda; — der Nervenstrom in der Thierreihe, 260. 261; — Gesetz des Nervenstromes, s. dieses; — relative Stromkraft der Nerven und Muskeln, 271. 272; — Zuckung durch den Nervenstrom, 272—274; — Abnahme und natürliche Grenze des Nervenstromes nach dem Tode, 282—286; — Einfluss von allerlei Umständen auf den Nervenstrom, 286—288. — S. sodann elektrotonischen Zustand der Nerven, negative Schwankung und Bewegungserscheinungen des Nervenstromes.

NEUMANN, FRANZ, Erhaltung der Kraft, I. XLV; — Inductionsgesetz, 301.

Digitized by Google

Newton, Sir Isaac, der wahre Sinn des Wortes Kraft, I. xlii; — Nachbild der Sonne, 350; — bei Haller, über das Nervenprincip, II (i) 211.
Niere, Strom daran, II (i) 202. 203; — innerlich polarisirbar, II (ii) 441.
Nobili, Leopoldo, versieht Schweigger's Multiplicator mit Ampère's Doppelnadel, I. 103; — sucht nach elektrischen Strömen in den Nerven, ebenda; — beobachtet die Zuckung ohne Metalle, 104; — vergleicht die Empfindlichkeit des physiologischen Rheoskopes mit der seines Multiplicators und entdeckt den Froschstrom, ebenda; — Froschsäule, 105. 231; — thermoelektrische Theorie des Froschstromes, 106. 107. 466. 467; — Vorschriften zur Herstellung astatischer Doppelnadeln, 166. 173; — entdeckt und erklärt deren freiwillige Ablenkungen, 169—170; — entdeckt die Ablenkungen durch die Drahtmassen, 177; — Mängel seiner Theorie derselben, 178. 179; — Verfahren zu deren Berichtigung, 188; — vergleichbares Galvanometer, 198; — allgemeines Gesetz der elektrischen Nervenerregung, 263; — elektrisches Heilverfahren bei Tetanus, 267. 383; — Gesetz der Zuckungen, 363. 364. 388—390; — Theorie der elektrischen Zuckungen, 385—388; — Nobili'sche Farbenringe, 566; — Tetanus schnell zugerichteter Frösche, II (i) 33; — Tetanisiren durch rasch wiederholtes Schliefsen und Öffnen des Kreises, 37; — Versuch, elektrische Wirkungen von Nerven zu erhalten, 228. 229; — Thonthermoströme, (ii) 201—203. 472. 474. 496; — gebraucht schon den Namen Elektrotonus, N. 40.
Nysten, das Gesetz der Todtenstarre, I. 322. II (i) 163. 164. 285; — Theorie derselben, 159 Anm.

O.

Oberhaut, Hauptsitz des Widerstandes des menschlichen Körpers, II (ii) 190. 191. 194—198; — Verminderung ihres Widerstandes durch Temperaturerhöhung, 212—217.
Obsidianmesser, zur Herstellung des Muskelquerschnittes, II (ii) 83. N. 48.
Öffnungstetanus nach langer Durchströmung, I. 365—367; — secundäre Zuckung durch denselben, II (i) 25 Anm.; — zur Beobachtung der negativen Schwankung des Muskelstromes, 57. 58.
Öffnungszuckung durch den Froschstrom, I. 66. 83. 100. 106; — Öffnungszuckung überhaupt zuerst von Valli und von Fowler bemerkt, 310; — selbständig aufgefunden von Pfaff, ebenda; — Galvani erst später aufgestossen, ebenda und N. 17; — Volta's Erklärung derselben, 314; — Lehot's, 315; — Erman's, 335; — der Organismus ertheilt nach Ritter sich selbst den Öffnungsschlag, 385. 422.
Öle, fette, deren Leitvermögen, II (i) 111; — Reizversuche unter Öel, I. 109; — hemmen nicht die secundäre Zuckung, II (i) 113; — wirken kaum merklich entwickelnd auf den Strom des Gastroknemius, II (ii) 62. N. 33.
Oertling, Mechaniker in Berlin, selbststeuernde Luftpumpe, II (i) 188; — Saxton'sche Maschine, I. 447 Anm. II (i) 398—403.
Ohm, G. S., sein Gesetz, I. 136. 161. 272. 273; — seine Drehwage, 197; — metallische Elektroden sind nach ihm als isoëlektrische Flächen zu betrachten, 574; — der Widerstand der Elektrolyte sinkt mit erhöhter Temperatur, II (i) 83.
Opiumvergiftung ohne Einfluſs auf den Muskelstrom, II (i) 172; — s. auch narkotische Gifte.
Opticus, N., des Schleyes, Strom daran, II (i) 256; — Versuch, die negative Schwankung am Opticus der Schildkröte zu beobachten, 522.
Organische Bewegung, II (i) 198.
Oseretskowski, über Michael Puschkin in Tobolsk, einen Homme-Torpille, I. 18.

P.

Pachytrop, an Oertling's Saxton'scher Maschine, II (i) 400.
Pacini'sche (Vater'sche) Körperchen, II (i) 241. 583. N. 36.
Pacinotti und Puccinotti, angebliche elektrische Wirkungen der Nerven, II (i) 238. 239. 243. 244. 247. 248. 259; — Marchiandi nimmt für sie die Nadelablenkung durch willkürlichen Tetanus in Anspruch, (ii) 318 Anm. 3.
Pallas, elektrische Erklärung des Leuchtens der Thieraugen, I. 12 Anm.
Papier, innerlich polarisirbar, II (ii) 439. 465. 466; — s. auch Bäusche.
Pappenheim, s. Purkinje.
Pará-Nuſs, deren Albumen isolirend, und nicht innerlich polarisirbar, II (ii) 438.
Paradoxe Zuckung, II (i) 545—550. 595; — s. auch Bell.

Digitized by Google

Parelektronomischer Zustand, erste Darlegung der Wirkung dauernder Erkältung auf den Muskelstrom, II (II) 34 bis 39; — die Entwickelung des Muskelstromes nach dem Enthäuten nicht von der Luft herrührend (39—43), sondern von der Benetzung mit Kochsalzlösung beim Auflegen auf die Zuleitungsgefäfse (43—54), welche durch jede die Muskelsubstanz angreifende saure, neutrale oder alkalische, leitende oder nicht leitende Flüssigkeit ersetzt werden kann (54—64), wie auch durch positivere Metalle, sofern sich bei fortgesetzter Berührung derselben mit den Muskeln ätzende Flüssigkeiten bilden (64—73); — zur Negativität des künstlichen Querschnittes tragen weder dessen Herstellung noch seine Prüfung selber etwas bei, 73—87; — Entwickelung der Negativität des natürlichen Querschnittes durch längere Berührung des künstlichen führt zur Entdeckung der Säurung des Muskels beim Absterben, 85. 86; — Erklärung des parelektronomischen Zustandes aus der Molecularhypothese, 87—90; — Versuche an Modellen zu deren Prüfung, 91—98; — die parelektronomische Schicht, 108; — mikroskopisch nicht unterscheidbar, 110. 111; — führt zur Annahme einer Zusammensetzung des Muskels aus solchen elektromotorischen Elementen, dafs der Längsschnitt neutral, der Querschnitt nach Umständen positiv, neutral und negativ sein könne, 112—117; — alle Muskeln aller Thiere als stets mehr oder minder parelektronomisch dadurch erkannt, dafs sie beim Anätzen des natürlichen Querschnittes eine verstärkte Wirkung im Sinn des Muskelstromes geben, 118—125; — auch Muskeln ganz frischer bei Sommerwärme gefangener Frösche, 119. 120; — Muskeln des Hechtes, 123; — des Kaninchens und der Taube, 123; — es giebt folglich keinen besonderen parelektronomischen Zustand, 125; — Matteucci's und Cima's hierher gehörige Angaben, 120—123; — Verfahren um kleine Veränderungen der parelektronomischen Schicht nachzuweisen, 125—130; — Einfluss der Temperatur auf die Parelektronomie, 130—138; — nach Matteucci's und Cima's Versuchen, 136. 139; — Winterschlaf und Parelektronomie, 135; — Einfluss der Zuckung auf die Parelektronomie, 138. 144. 145. 147. 148; — Einfluss der Nervendurchschneidung, Gefäfsunterbindung und Schwefelwasserstoffvergiftung auf die Parelektronomie gleich Null, 140. 141; — elektromotorisches Verhalten des parelektronomischen Muskels bei der Zusammenziehung, 142—151; — bei der Ausdehnung und Zusammendrückung, 158. 159; — früher beobachtete Umstände, die sich aus der Parelektronomie erklären, 169—172.

Parelektronomie, s. parelektronomischer Zustand.

Partielle Ströme, in welche die Strömung im nicht prismatischen Leiter zerfällt, I. 572.

Partington, elektromagnetische Dame, II (I) 227. N. 37.

Péclet, über astatische Doppelnadeln, I. 165; — besonderer Fall von Ablenkung durch die Drahtmassen, 177. 182; — Art, die Ablenkung durch die Drahtmassen zu vermeiden, 186; — Darstellung der Vorgänge in Curven, N. 1.

Peltier, Polarisationserscheinungen an Muskeln (Peltier'sche Ladungen), I. 376. 377. II (II) 71. 72; — Text seiner Angaben darüber, 378. 379; — Widerlegung von Prévost's Angabe einer elektrischen Wirkung thätiger Muskeln, (I) 8. 9; — verkennt die Natur der von ihm bestätigten secundären Zuckung, 13. 15. 16. 105 Anm.; — gegen die Identitätslehre, 240; — reciprokes Phänomen der Thermoströme, (II) 394; — sein thermoëlektrisches Kreuz, 413. 420. 421.

Penis, elektrische Reizversuche daran, I. 355. 356.

Perca fluviatilis, s. Barsch.

Peripolare Anordnung, I. 682.

Peronaeus, *N.*, vom Frosch, II (I) 445. 546.

Person, über elektrische Ströme in den Nerven, II (I) 232—234. N. 38; — Nerven nicht besser leitend als andere Gewebe, (II) 191.

Petersilienwurzel, innerlich polarisirbar, II (II) 438.

Pfaff, über die angebliche freiwillige Elektrisirung des menschlichen Körpers, mit Ahrens, I. 14. 15; — Darstellung von Galvani's Theorie der thierischen Elektricität, 49; — Zuckung mit nur scheinbar gleichartigen Metallen, 79; — Zuckung ohne Metalle, Rolle der Haut dabei, 101. II (II) 20; — gesteigerte Empfindlichkeit des physiologischen Rheoskopes bei Hindurchleiten des Stromes durch die Nerven, I. 252 Anm.; — Unterband in Reizversuchen, 253 Anm.; — Zuckung scheinbar ohne

Digitized by Google

Kettenverband, 265; — Reibung der Metalle an einander die Zuckungen hervorlockend, 269; — Empfindungen im Säulenkreise, 283; — die elektrische Gesichtserscheinung während des Kettenschlusses andauernd, 284; — gegen die elektrolytische Erklärung des elektrischen Geschmacks, 287 Anm.; — elektrische Nervenerregung wächst mit der Länge der durchflossenen Strecke, 295. II (I) 559. 560. 561; — das Gesetz der Zuckungen, I. xx. 310—312; — entdeckt selbständig die Öffnungszuckung, 310; — erklärt das Absterben der Nerven vom Centrum nach der Peripherie durch deren Trocknifs, 322; wider Ritter's Gegensatz zwischen Beugern und Strekkern, 325; — der elektrische Geschmack bei centrifugalem Strom, 339 bis 340; — die elektrische Gesichtserscheinung stärker bei centripetalem Strom, 345; — über Ritter's subjective Versuche, 357 Anm.; — Gesetz des elektrischen Schmerzes im Sinne des Gesetzes der Zuckungen, 359; — paradoxer Versuch, ebenda Anm.; — über Ritter's Modificationen der Erregbarkeit durch geschlossene Ketten, 371. 372; — Erregbarkeit ermüdeter Gliedmafsen schnell erschöpft, 375; — über das umgekehrte Gesetz der Zukungen, 404. 405; — Stromvertheilung in nicht prismatischen Leitern, 565. 566; — Leitungsvermögen von Terpenthinöl und Alkohol, II (I) 111 Anm.; — über die angebliche isolirende Beschaffenheit der Nervenhüllen, 275. 276; — die Flamme ein Nichtleiter des Galvanismus, 561 Anm.; — galvanische Zuckungen schwerer erfolgend bei noch erhaltener Verbindung mit den Centralgebilden, 563; — über Humboldt's integrirende Reize, II (II) 165; — über Galvani's Reizversuche vom Nerven aus, N. 17; — Pfaff's Dissertation, N. 29.

Pflanzensäfte, saure, nach Volta die Zukkung ohne Metalle befördernd, I. 72. II (II) 163. 164.

Pflanzentheile, grüne und holzige frische, stark innerlich polarisirbar, II (II) 437. 438..

PFLÜGER, II (II) 500.

Pfundbärme, schwach innerlich polarisirbar, II (II) 439.

Phase, positive und *negative* des elektrotonischen Zustandes, II (I) 294; — Phasen an beiden Enden des Nerven complementär, 301.

Physiologische Elektricität, Begriffsbestimmung derselben, I. 4; — Übersicht ihres Thatbestandes im Jahre 1841, 7—28.

Physiologisches Rheoskop, s. stromprüfender Froschschenkel.

Platin, dessen Gebrauch zur Ableitung der thierisch-elektrischen Ströme, I. 204—209. 214; — im platinirten Zustande für secundäre Batterien empfohlen, II (I) 190.

Platinschwamm, mit einem Elektrolyten getränkt einen typischen Fall von innerer Polarisirbarkeit bietend, I. 380. II (II) 459.

POGGENDORFF, allgemeines galvanometrisches Gesetz, I. 177. II (I) 493; — Multiplicatorgewinde ohne Spalt zur Vermeidung der Ablenkungen durch Drahtmassen, I. 186; — Mittel zur Erhöhung der Empfindlichkeit eines Galvanometers, 189; — Ablesung mit Spiegel, Fernrohr und Scale, 197; — Verfahren zum Graduiren der Multiplicatoren, 198; — Elektrolyse von Silbernitrat zur Bestimmung ihrer absoluten Empfindlichkeit, 199; — Erscheinungen beim Entgegensetzen einer Daniell'schen Kette und eines durch eine Grove'sche Kette polarisirten Platinplattenpaares, oder einer Groveschen Kette und einer mittelst seiner Wippe geladenen secundären Säule, 238. 245; — Grenze der Polarisation, 239; — Erfinder der Klemmschrauben zur Verbindung stromführender Drähte, 445; — sein Inversor, 447—448. II (I) 461; — Widerstand eines radial durchflossenen Flüssigkeitsringes, I. 568; — seine Erklärung der paradoxen Erscheinung an den „flachen Erregerpaaren", 611; — zusammengesetzte Kette, 701. N. 50; — doppelsinnige Ablenkung, II (I) 44. 45. 421—430. 439; — besondere Tauglichkeit des platinirten Platins zu secundären Batterien, 190; — der secundäre Strom entwickelt Wasserstoff an der ursprünglich positiven Elektrode, ebenda; — die Polarisation sinkt mit dem barometrischen Drucke, 191; — Wheatstone'sche Brücke, 500; — bewegtes Zink in verdünnter Schwefelsäure negativ gegen ruhendes, (II) 326. 328; — über Stromdichte, N. 25.

POHL, Gyrotrop, s. Stromwender; — Vergleich der Strömungscurven mit magnetischen Curven, I. 565.

Polarisation als regelmäfsige Anordnung kleinster Kräfteträger, die elektrische Nervenerregung und die Magnetisirung erklärend, I. 418; — *säulenartige*, der

Digitized by Google

dipolaren Nervenmolekeln, zur Erklärung des Elektrotonus angenommen, II (I) 322.
Polarisation der Elektroden, I. 120; — ihre Rolle in den thierisch-elektrischen Versuchen, 236—243; — positive des Eisens und des verquickten Zinks, 236 Anm.; — Polarisation auch nach den kürzesten Strömen (Henrici, Schönbein, A.), 238; — Grenze der Polarisation des Platins, 239; — Beseitigung der Polarisation durch galvanoplastische Combinationen, 243. II (I) 149; — Polarisation thierischer Theile, I. 377—381. II (II) 380; — Polarisation zwischen Elektrolyten (äufsere positive und negative) und innere negative Polarisation feuchter poröser Körper, s. secundär-elektromotorische Erscheinungen, II (II) 377 bis zum Schlufs.
Polarisationswippe, Poggendorff's, I. 238; — die bei der Erforschung der secundär-elektromotorischen Wirkungen angewandte, II (II) 389—395.
Polarzonen der elektromotorischen Muskelelemente, I. 671. 680.
PORRET's Versuch, I. 395. II (II) 440. 496.
POUILLET, angebliche negative Elektrisirung der Pflanzen durch Kohlensäurebildung, I. 8; — Sinus- und Tangentenbussole, 197; — Bedeutung der Stromdichte in Reizversuchen, 252 Anm.; — verkennt das allgemeine Gesetz der elektrischen Nervenerregung, 263; — Verhältnifs der schwächsten wahrnehmbaren und der stärksten erträglichen Ströme, 293; — Verfahren zur Messung kleinerer Zeiträume, 411; — Stromvertheilung in nicht prismätischen Leitern, 565. 566; — beständige Ablenkung durch einen unterbrochenen Strom, 413 und II (I) 31; — Versuch, elektrische Ströme vom Rückenmark abzuleiten, 227; — Widerstand des menschlichen Körpers, 75 Anm. (II) 198; — über Luftströmungen unter Multiplicatorglocken, 312; — Mitglied und Berichterstatter der Commission d'Électrophysiologie, 320; — seine Kritik des Versuches über den Strom bei willkürlichem Tetanus, 336. 337. 357; — deren Widerlegung, 338—352. 357—373. N. 51.
Präexistenz des Muskelstromes II (II) 178. 179; — des Nervenstromes, 179.
PRÉVOST und DUMAS, Bau der Primitivnervenröhren, I. 393; — Ketten aus Muskelfleisch und Blut oder Salzwasser u. d. m. 483; — elektrische Theorie der Muskelzusammenziehung, II (I) 7; — des Nervenprincips und erster Versuch am Multiplicator Wirkungen vom Nerven zu erhalten, 224—226; — isolirende Beschaffenheit der Nervenhüllen, 276; — ihre angeblichen Endschlingen der Nerven durch R. Wagner vernichtet, 582. 583.
PRÉVOST (ohne DUMAS), Bestimmung der Stromrichtung mittelst des stromprüfenden Schenkels, I. 396; — neue elektrische Theorie der Muskelzusammenziehung, II (I) 8; — dritte Theorie, ebenda, 9. 235. 240; — Bestätigung von Matteucci's contraction induite, 15.
PRIESTLEY, elektrische Theorie der Muskelzusammenziehung, II (I) 5; — fette und flüchtige Öle Nichtleiter der Elektricität, 111 Anm.; — Anhänger der Identitätslehre, 217; — Leitungsgüte der Nerven, II (II) 190; — entdeckt die Leitungsfähigkeit der Kohle, 459.
Primitivmuskelbündel, s. Muskelbündel.
PRING, JAMES, Erklärung der Angaben William Müller's über Elektricitätsentwickelung durch Muskelanstrengungen, II (I) 11.
PROCHASKA, Anhänger der Identitätslehre, II (I) 219.
Proportionalität zwischen elektrotonischem Zuwachs und Stromdichte, zwischen Elektromagnetismus und Stromstärke, mittelst eines neuen Princips erwiesen, II (I) 416—423. N. 42.
Pseudoëlektrische Fische, II (I) 207.
PTSCHELNIKOFF, s. Lenz.
PUCCINOTTI, lehnt die für ihn von Marchiandi beanspruchte Priorität des Versuches über Nadelablenkung durch willkürlichen Tetanus ab, II (II) 318. 319 Anm.; — s. auch Pacinotti.
Pulversatz zum Tetanisiren, II (I) 519. N. 43.
Pupille, verengt sich bei elektrischer Sehnervenerregung, I. 353.
PURKINJE, pepsinhaltige Flüssigkeiten zur Verdauung befähigt durch elektrische Entwickelung von Säure (mit PAPPENHEIM), I. 110 Anm.; — der subjective elektrische Lichtschein während des Kettenschlusses andauernd, 284; — genauere Beschreibung der galvanischen Lichtfiguren, 350—352. 354.

Q.

Quadriceps femoris, M., Strom durch willkürlichen Tetanus dieser Muskelgruppe, II (II) 290.

Digitized by Google

Quarzsand, innerlich unpolarisirbar, II (II) 434.
QUATREFAGES, ARMAND DE, angebliche Lichtentwickelung bei der Zusammenziehung, II (I) 23; — Endigung der sensiblen Nerven bei Amphioxus, 583 Anm.
Quecksilber, als gleichartiger Metallbogen bei Zuckungsversuchen angewandt, von Aldini, I. 60; — von Humboldt, 80. 81; — entwickelt den Strom des Gastroknemius, II (II) 41. 42. 65. 66.
Querbäusche, bei Polarisationsversuchen, II (II) 383.
Querschnitt, künstlicher, des Muskels, definirt, 501; — geometrischer und elektromotorischer Mittelpunkt (Pol) des Querschnitts, 508. 509; — geometrischer und elektromotorischer Querschnitt des Muskels, 513. 514; — richtige Art den künstlichen Querschnitt herzustellen, 698; — Einfluſs der Gröſse des Querschnitts auf die Muskelstromkraft, 698—715; — Bestimmung des Querschnittes durch Wägung, 704; — weder Prüfung noch Herstellung des künstlichen Querschnittes tragen zur Entwickelung seiner Negativität bei, 75—87; — Wirkung der Benetzung des künstlichen Querschnittes mit verschiedenen Flüssigkeiten, 77. — S. Anfrischen des Querschnittes.
Querschnitt, natürlicher, des Muskels, definirt, I. 501; — gleichbedeutend mit dem sehnigen Ende, 538. 539; — dessen Bau, II (II); — Rolle bei der Zuckung ohne Metalle, I. 525. 526. — S. parelektronomischer Zustand.
Querschnitt des Nerven, vielleicht schon von Galvani als boccuccia bezeichnet, I. 84; — Vorsichtsmaſsregel bei dessen Herstellung, II (I) 251. 252; — in den schwachen Strömen von Querschnitt zu Querschnitt keine Gesetzmäſsigkeit, 252; — es fehlt an einem natürlichen Querschnitt der Nerven, 253; — ob die Retina als ein solcher anzusehen sei, 256. 257; — Einfluſs der Gröſse des Querschnitts auf die Nervenstromkraft, 264, 268.
QUETELET, Darstellung beliebiger Abhängigkeiten durch Curven, N. 1.
QUINCKE, GEORG, II (II) 459 Anm.

R.

Rana esculenta, s. Frosch.
Rana temporaria, s. Grasfrosch.
RAYER, Mitglied der Commission d'Électrophysiologie, II (II) 320.
RÉAUMUR, mechanische Theorie des Zitterfisch-Schlages, II (I) 216.
Rectus internus, M., (droit interne Cuv.), vom Frosch, Strom zwischen sehnigen Enden, I. 497; — Gewicht bei 1 cm Länge, Verhältniſszahl der Bündel, Stromstärke zwischen Längs- und künstlichem Querschnitt, 705.
Ré-électromètre, von Marianini angegebenes Meſsinstrument für instantane Ströme, I. 418. II (I) 242.
VAN REES, Vertheilung des Magnetismus in Stäben, II (I) 354 Anm.
Regenwurm, Muskelstrom daran, I. 523. 524.
REICHERT, C. BOG., Darstellung der Bowman'schen Lehre vom Bau des Muskelprimitivbündels, I. 544. 545 Anm.; — quergestreifte Musculatur des Schleydarmes, II (I) 200.
REIMARUS, vom Blitze, I. 151 Anm.
REINHOLD, Galvanist und Übersetzer von Sue's Histoire du Galvanisme, I. 31. 78. 79; — über die Zuckung mit gleichartigen Bögen, 81; — Berichtigung seiner geschichtlichen Angaben über die Rolle des Unterbandes in Froschschenkelversuchen, 253 Anm.; — der subjective elektrische Lichtschein während des Kettenschlusses andauernd, 284; — Urtheil über Ritter's subjective Versuche, 357 Anm.
REMAK, ROBERT, eigenthümliche Veränderung von Muskelbündeln bei einer Puerpera, II (I) 72.
REMER, angebliche Entladungsschläge von Aalen, Ratten und Katzen, I. 18.
Retina, Pallas glaubt, daſs sie elektrisch leuchte, I. 12 Anm.; — elektromotorisches Verhalten der Nervenendigungen in derselben, II (I) 256. 257; — es mislingt vorläufig, negative Schwankung des Opticusstromes durch Belichtung die Retina zu erzeugen, 522.
REUSS, Überführung von Flüssigkeiten durch den elektrischen Strom, II (II) 440.
RIESS, PETER THEOPHIL, Eisen im Kupfer der Multiplicatordrähte, I. 185; — Versuch an seinen Apparaten über die vergleichsweise Stärke des Schlages, den dieselbe Elektricitätsmenge von zwei ungleichen Belegen aus giebt, 270. 271; — und den verschiedene Elektricitätsmengen bei gleicher Dichte geben, 289; — Induction im offenen Kreise, 423. II (I) 7; — Vorrichtung zur Jodkaliumelektrolyse, I. 443; — Theorie der Rosenschöld'schen Ladungserscheinungen, II (II) 471; — Leitung von Schwefelantimon, 493 Anm.; — Methode, selbst nachgesehene Citate mit einem Sternchen zu

Digitized by Google

versehen, N. 3; — über angebliche Elektricitätsentwickelung durch den Vegetationsprocess, N. 5; — über die elektrische Dame zu Orford, N. 8.
Rigor mortis seu mortualis seu emortualis, s. Todtenstarre.
Rimini, Galvani's Zitterrochenstation am Adriatischen Meere, I. 86.
Rind, fehlerhafter Versuch Aldini's daran, I. 94; — Matteucci's Nachweis des Muskelstromes, 540.
Ringelnatter, verkehrtes Gesetz der Zukkungen an deren vorderen Rückenmarkssträngen, I. 402; — Muskelstrom, 523.
Rippe, *Rippenknorpel*, innerlich polarisirbar, II (II) 439.
RITCHIE's *elektromagnetische Maschine*, II (I) 48 Anm.
RITTER, JOHANN WILHELM, Entdecker der „Modificationen der Erregbarkeit durch geschlossene Ketten", I. XX; — Zuckung ohne Metalle, 78; — Stromdichte in Reizversuchen, 252 Anm.; — Unterband in Reizversuchen, 253 Anm.; — Absterben der Nerven vom centralen Stumpf abwärts, 254; — allgemeines Gesetz der elektrischen Nervenerregung, 263. 265; — Zuckungen scheinbar ohne Kettenverband, ebenda; — Einschleichen in den Kreis einer 200gliedrigen Säule ohne die Empfindung eines Schlages, 266. 267; — Zuckung durch Herstellung einer Schlinge am durchflossenen Nerven, 268; — angeblich verschiedene Empfindungen an der Zink- und Silberseite der Säule, 283; — Dauer des subjectiven elektrischen Lichtscheins während des Kettenschlusses, 284; — ebenso der subjectiven elektrischen Gehörwahrnehmung, 285; — subjectiver elektrischer Geruch, ebenda; — verstärkter elektrischer Geschmack bei Öffnung der Kette, 287 Anm.; — elektrische Nervenerregung mit der Länge der durchflossenen Nervenstrecke wachsend, 295. II (I) 559. 560 Anm.; — quere Erregung des Nerven nicht unwirksam, I. 297; — Gesetz der Zukkungen, 313—333; — verschiedene Erregbarkeit der Beuger und Strecker, 317—321; — Frösche am reizbarsten im Frühling und Herbst, 320; — Gesetz des Absterbens der Nerven vom Centrum nach der Peripherie, 322; — der elektrische Geschmack bei centrifugalem Strom, 339; — dessen Gesetz im Sinne des Gesetzes der Zuckungen, 340—342; — dasselbe für den elektrischen Geruch, 343; — für das Gehör, 343—345; — das Gesicht, 345 bis 350; — Modificationen der Erregbarkeit durch geschlossene Ketten, 365—372; — der Organismus ertheilt sich den Öffnungsschlag selbst, 385. II (I) 386. 387; — Öffnungstetanus mit langer Schliefsung, 365—367. II (I) 39. 40; — Ritter als Anhänger der Identitätslehre, 219. 220; — über Humboldt's integrirende Reize, II (II) 165; — unrichtige Angaben über die Leitungsgüte der thierischen Gewebe, 189. 190; — aber die Oberhaut ein fast vollkommener Nichtleiter, 191; — Polarisation der Kohle, 460.
DE LA RIVE, AUGUSTE, folgt Nobili's thermoëlektrischer Theorie des Froschstromes, I. 107; — Erforschung der Stromvertheilung in prismatischen Leitern durch Ableitung von Stromzweigen, 565. II (I) 228; — Versuch über den Einfluss der Luftverdünnung auf die Polarisation der Elektroden, II (I) 188. 189; — elektrische Theorie der thierischen Wärme, 223. 224; — über den Strom beim willkürlichen Tetanus, (II) 311 Anm.
ROBERTS, MARTYN, angebliche Rolle der Nervenelektricität bei der Schamröthe, II (I) 239. 240.
ROBIN, CHARLES, elektrisches Organ des gemeinen Rochen, II (I) 207.
ROBISON, Schmerz in Wunden durch den Strom der einfachen Kette, I. 284; — bei der Öffnung verstärkt, 310; — der elektrische Geschmack bei centrifugalem Strom, 339.
ROEBER, HERM., II (II) 500.
ROGER, JOS. LUD., Gegner der Identitätslehre, II (I) 215 Anm. N. 6.
ROLANDO, Anhänger der Identitätslehre, II (I) 220. 230.
ROSENSCHÖLD, MUNK AF, Erscheinungen an der durch einen feuchten Faden geschlossenen Säule, I. 432 Anm.; — Ladungserscheinungen an Halbleitern, II (II) 464—471.
ROSENTHAL, Is., II (II) 500.
Rotationsapparat, magnetogalvanischer, s. Saxton'sche Maschine.
ROUSSEAU, reines Ölivenöl ein sehr vollkommener Nichtleiter, II (I) 111 Anm.
LE ROY, elektrischer Lichtschein durch den Schlag der Leydener Flasche, I. 56.
Rückenmark, Engelhardt's Versuch, I. 326; — verkehrtes Gesetz der Zukkungen an den vorderen Rückenmarkssträngen nach Longet und Matteucci, 402; — van Deen's, Kürschner's und

Digitized by Google

Stilling's Versuche, II (I) 576—580; — s. auch Centralnervensystem.
Rückschlag bei Gewittern (returning stroke), erklärt Galvani's erste Beobachtung, I. 34. 35.
RÜPPELL, elektrisches Organ der Mormyri, II (I) 207.
RUHMKORFF, Erbauer von Multiplicatoren, I. 162. II (I) 479; — Vorrichtung zur Berichtigung der Ablenkungen durch die Drahtmassen, I. 189. II (I) 485. 486; — empfindlicher Multiplicator, 248; — N. 26.
RUTHERFORD, Öffnungsblitz mit der einfachen Kette, I. 310.

S.

SACHS, CARL, Untersuchungen am Zitteraal, II (II) 503.
Säurung des Muskelquerschnitts in Folge des Absterbens, II (II) 85. 86.
Salamandra maculata, s. Erdmolch.
Salmiaklösung zur Ableitung der thierisch-elektrischen Ströme, I. 217.
Sandstein, innerlich polarisirbar, II (II) 433.
SANTI-LINARI, Funken durch den Zitterrochen-Schlag, I. 691.
Saphenus, *N.*, vom Frosch, II (I) 521 Anm.
Sarkolemma, Bowman's, I. 544 Anm. 545.
Sartorius, *M.*, (Couturier Cuv.), vom Frosch, Strom zwischen sehnigen Enden, I. 497. 512; — Gewicht bei 1 cm Länge, Verhältnifszahl der Bündel, Stromstärke zwischen Längs- und künstlichem Querschnitt, 705.
Sattelbausch, zur Untersuchung des lebenden Frosches, II (II) 8.
SAUERWALD, Mechaniker in Berlin, II (II) 450.
SAUSSURE, HORACE-BÉNÉDICT, Elektrisirung des menschlichen Körpers durch Reibung der Kleider, I. 12.
SAUVAGES, FRANÇOIS BOISSIER DE, elektrische Theorie der Muskelzusammenziehung, II (I) 5. 10; — einer der Väter der Identitätslehre, 210—214.
SAXTON'sche Maschine zum Tetanisiren, II (I) 47; — zum Elektrotonisiren der Nerven, 308—403. 405. 406. 408.
Schaf, Muskelstrom daran, I. 540.
SCHARLAU, gegen Schönlein's elektrische Theorie der rheumatischen Schmerzen, I. 17.
Schellackfirnifs, Politur der Tischler, kein zuverlässiger Isolator, II (I) 110. 480. 481 Anm.; — Lack der Mechaniker, 113.
SCHELLBACH, galvanoplastisches Kupfer zu Multiplicatordrähten, I. 186.
Schildkröte, Muskelstrom daran, I. 523. 524; — Nervenstrom überhaupt und am sympathischen Grenzstrang, II (I) 260; — Versuch durch Belichtung ihres Auges negative Schwankung des Stromes des Sehnerven zu erzeugen, 522.
SCHINDERHANNES, galvanische Versuche an seinen hingerichteten Spiessgesellen, N. 53.
SCHLEIDEN, über Lebenskraft, I. XXXIV; — Leuchten der Blumen, 8.
Schleim, befördert die Zuckung ohne Metalle nach Volta, I. 72. II (II) 163; — entwickelt den Strom des Gastroknemius, 164.
Schley, Muskelstrom daran, I. 523. 524. 540; — contractiles Gaumenorgan, 198. 199; — Nervenstrom an seinem Sehnerven und Augapfel, II (I) 256. 257; — Nervenstrom überhaupt, 261; — keine Hautströme, II (II) 16. 17.
Schliefsungsbausch, I. 221.
Schliefsungsdochte, verwerflich, I. 221.
Schliefsungsrohre, langes und kurzes, I. 220.
Schliefsungszuckung, s. Gesetz der Zuckungen.
Schlitteninductorium, s. Magnetelektromotor.
Schmerz, *elektrischer*, s. Gefühl.
SCHÖN, s. Günther und Schön.
SCHÖNBEIN, Funken durch den Zitteraalschlag, I. 691; — Polarisirung flüssiger Leiter, II (II) 422.
SCHRÖDER, H., Verfahren zur Berichtigung der Ablenkungen durch die Drahtmassen, I. 188. II (I) 489; — Multiplicatoren mit langem Draht, 479 Anm.
Schüsselversuch am Zitterrochen, II (I) 15. 105.
Schüttelversuch an polarisirten Elektroden, I. 212; — dessen Rolle in älteren Reizversuchen, 268—270. II (I) 190. (II) 333.
SCHULTZE, C. A. S., Reaction des Hautsecretes der nackten Amphibien, N. 46.
Schwankung, *der Gleichgewichtslage astatischer Systeme*, I. 192—196.
Schwankung, *positive und negative der Stromdichte*, Bedingung der elektrischen Nervenerregung, nach dem allgemeinen Gesetz dieser Erregung, I. 258. 259; — s. dies Gesetz.
Schwankung, *negative des Muskelstromes bei der Zusammenziehung*, erste Dar-

Digitized by Google

legung, II (I) 25—30; — bei mechanischer Reizung, 52—54; — Reizung durch Wärme, 54; — bei chemischer Reizung, 54. 55; — bei elektrischem Tetanisiren des Rückenmarkes, 56; — bei Strychninvergiftung, 57; — bei Ritterschem Öffnungstetanus, 57. 58; — Zurückführung der negativen Schwankung auf eine scheinbare Abnahme der Muskelstromkraft, 59—87; — wahres ihr zu Grunde liegendes Verhalten, 120 bis 129; — Verhalten am parelektronomischen Muskel, II (II) 142—151; — die parelektronomische Schicht am Molecularmechanismus der Zusammenziehung unbetheiligt, 147. 148; — die Curve der Muskelstromstärke bezogen auf die Zeit während des Tetanus, 145. 157. 158; — die negative Schwankung an nicht enthäuteten Gliedmafsen und am lebenden unversehrten Frosch, 180—186; — s. auch secundäre Zuckung.

Schwankung, negative des Muskelstromes am lebenden menschlichen Körper, II (II) 276—376; — Verfahren dabei, 278 bis 282; — der Versuch an den verschiedenen Gliedmafsen, 282—291; — die classische Form des Versuches, 287; Vorrichtung dazu, 287. 288; — der Versuch am M. quadriceps femoris, 290; — elektromotorische Nachwirkung des willkürlichen Tetanus, 291 bis 294; — Versuch nur an den Beugern und Streckern des Armes, 298. 299; — Verbindung mehrerer Menschen zur Anstellung des Versuches als Säule oder als zusammengesetzte Kette, 299—304; — warum mit dem stromprüfenden Froschschenkel der Versuch mifslinge, 304—308; — Geschichte des Versuches, 308—321; — Erklärung der falschen, von mehreren Beobachtern erhaltenen Ergebnisse, 321—331; — der Strom beim willkürlichen Tetanus nicht thermoëlektrisch, 352—355; — nicht von Schweifsausbruch, 358 bis 360; — nicht von Congestion herrührend, 360—362; — Entfernen der Haut durch Blasenpflaster verstärkt ihn ausnehmend, 364—368.

Schwankung, negative des Muskelstromes am Unterschenkel des Kaninchens, II (II) 336—344; — *des lebenden Kaninchens*, 344—348.

Schwankung, negative des Nervenstromes, A. bei elektrischer Erregung: Rechtfertigung des Gebrauches des Inductoriums, II (I) 412—425; — erste Darlegung, 425; — veränderte Curve der Nervenstromkraft bezogen auf die Nervenaxe während des Tetanus, 429; — Beseitigung von Bedenken (Stromschleifen, Widerstandszunahme des Nerven), 430. 447; — scheinbar positive Schwankung statt der negativen, 416. 453. 458. 465. 466. 470; — Abhängigkeit von verschiedenen Umständen, 447—472; — negative Schwankung bei Doppelerregung, 461. 462; — am Nervenmultiplicator, 506. 507. — B. bei nicht elektrischer Erregung: durch Strychnin, 510—517; — Zerstören des Rückenmarkes, 517; mechanischem Zerstören des Nerven, 517. 518; — Verbrennen desselben, 518—520; — durch chemische Reizung, 520; — von der Haut aus, 520. 521; — am Sehnerven der Schildkröte, 522; — die Schwankung nicht vorgetäuscht durch Verkürzung der wirksamen Nervenstrecke, 522—527; — mit der Zuckung parallelisirt, 558 bis 563; — deren physiologische Bedeutung, 563—566; — an den Spinalnervenwurzeln in beiden Richtungen erfolgend, 587—591; — durchdringt die Ganglien, 601—603; — an den Centralgebilden, 603—604; — auch am Rückenmark von den Ischiadgeflechten aus, 605.

Schwann, Theodor, über Lebenskraft, I. xxxiv; — führt den M. gastroknemius des Frosches in die allgemeine Muskelphysik ein, 494; — Kritik aller Erklärungen der Muskelzusammenziehung durch Kräfte, welche umgekehrt wie das Quadrat der Entfernung abnehmen, II (I) 6. 10. 11; — Versuch über doppelsinnige Leitung in den Nerven, 571; — Nervenendigung in den Muskeln, 582.

Schwefelantimon, Ladungserscheinungen daran nach Rosenschöld, II (II) 465; — Leitung nach Riess, 493 Anm.

Schwefelblumen-Teig, innerlich unpolarisirbar, II (II) 484. 474.

Schwefelwasserstoff nach Matteucci den Muskelstrom fast vernichtend, II (I) 173. 174.

Schweifs, entwickelt den Strom des Gastroknemius, II (II) 164; — schwitzende Hautstelle positiv gegen die symmetrische nicht schwitzende, 358—360.

Schweifscanälchen, vermitteln vielleicht die Leitung durch die Oberhaut, II (II) 195.

Schwingungsdauer astatischer Doppelnadeln, 167. 168; — im Multiplicatorgewinde, 190—192. II (I) 248. N. 26.

Secundär-elektromotorische Erscheinungen, zuerst als Peltier'sche Ladungen thie-

Digitized by Google

rischer Theile beschrieben, I. 377 bis 381; — positive Polarisation der Muskeln, I. 240. II (I) 331. (II) 71; — innere Polarisirbarkeit, 380; — Versuchsweisen, 382—388; — Polarisationswippe, 389—395; — Polarisation an der Grenze ungleichartiger Elektrolyte, 398—422; — Nachweis derselben an nur Einer Grenze (Peltier'sches Kreuz), 412. 414; — Ritter'sche Ladungssäule oder secundäre Säule aus Elektrolyten, 414. 415; — beruht nicht auf Temperaturunterschieden, sondern auf Ausscheidung von Ionen an der Grenze der ungleichartigen Elektrolyte, 417—422; — innere Polarisirbarkeit als weit verbreitete Eigenschaft feuchter poröser Körper erkannt, 430—442; — Einfluſs der Temperatur, 442. 443; — der Dimensionen, 443—456; — Nachahmung der inneren Polarisation mit Kohle u. d. m., 459—464; — Munk af Rosenschöld's Ladungserscheinungen, 464—471; — die innere Polarisation beruht nicht auf Temperaturunterschieden und nicht auf Gegenwart ungleichartiger Elektrolyte im Innern der feuchten porösen Körper, 471—476; Thatbestand und Theorie derselben, 476—490; — besondere Umstände und Anwendungen, 491—497.

Secundärer elektrotonischer Zustand und secundäre negative Schwankung vom Nerven aus, II (I) 541—545.

Secundärer Jodfleck in Inductionskreisen, II (I) 400.

Secundäre Säule aus Elektrolyten, s. secundär-elektromotorische Erscheinungen.

Secundärer Widerstand feuchter poröser Körper, II (II) 457—459. 497. 498.

Secundäre Zuckung vom Muskel aus, von Matteucci endeckt, II (I) 14; — Bestätigungen, 15; — Erörterungen über deren Natur, 15. 16; — Matteucci's weitere Versuche darüber, 16—25; — wird in England „induced contraction" getauft, daher von Matteucci contraction induite genannt, 18; — Zuckungen höherer Ordnung, 21. 118; — secundärer Tetanus, 89—93; — Erklärung der secundären Zuckung, 93—99; — Widerlegung von Matteucci's Theorie derselben, 99—118; — am immobilisirten Muskel, 119. 120; — angewandt, um den Tetanus auf Discontinuität zu untersuchen, 515; — gelingt nicht durch willkürliche Zuckung am menschlichen Körper, II (II) 304—308.

Secundäre Zuckung vom Nerven aus, mislingt Matteucci, II (I) 21. 529; — vielleicht schon von Sömmering gesehen, 529; — Art sie darzustellen, 529. 530; — Wahrung gegen verschiedene Einwände, 530—532; — sie rührt vom elektrotonischen Zustande her, 532 bis 539; — Einzelheiten, 539—541; — s. auch paradoxe Zuckung.

Sehne, elektromotorisch unwirksamer leitender Überzug über den natürlichen Querschnitt des Muskels, I. 501; — Strom der Sehnen, II (I) 202; — Sehnengewebe innerlich polarisirbar, (II) 440. 441.

Seide, rohe, zum Aufhängen der Doppelnadel, I. 172. 173; — zum Unterbinden, 460. II (I) 51; — innerlich unpolarisirbar, (II) 442.

Seife, innerlich polarisirbar, II (II) 436. 437. 478. 492.

Seifenwasser, befördert nach Volta die Zuckung ohne Metalle, I. 72; — und wirkt stark entwickelnd auf den Strom des Gastroknemius, II (II) 163; — innerlich polarisirbar, II (II) 436. 437. 478. 492.

Selbstschlieſsende Vorrichtung zur Ermittelung des wahren Verhaltens des Muskelstromes bei der Zusammenziehung, Vorbild des späteren Froschhammers, II (I) 121—125.

Semimembranosus, M., (demi-aponévrotique Cuv.), vom Frosch, Strom zwischen sehnigen Enden, I. 497. 512; — Gewicht bei 1 cm Querschnitt, mittlere Verhältniſszahl der Bündel, Stromstärke zwischen Längs- und künstlichem Querschnitt, 705. 712.

Semitendinosus, M., vom Frosch, Strom zwischen sehnigen Enden, I. 497; — Rolle beim Präpariren der aus Adductor magnus und Semimembranosus bestehenden Gruppe, 711.

SEUBERT, Zuckung von hinteren Wurzeln aus, II (I) 598.

Sicherheitsbäusche bei Polarisationsversuchen, II (II) 383.

Sicherheitsplatten, I. 220. II (II) 8.

Siedhitze, schwächt den Muskelstrom und kehrt ihn um, II (I) 180; — ebenso den Nervenstrom, 287; — beeinträchtigt bestehende Polarisation am Froschbein, I. 379, und auch sonst an innerlich polarisirbaren porösen feuchten Körpern, II (II) 443; — läſst aber scheinbar die Polarisirbarkeit der Muskeln bestehen, I. 379.

SIEMENS und HALSKE, hundertgliedrige Daniell'sche Säule, II (II) 395; — Vertical-Galvanoscop, 397.

SIGAUD DE LA FOND, s. Castraten.

Silber in Silbernitrat- oder Cyansilberka-

Digitized by Google

liumlösung zur Ableitung des Muskelstromes angewendet, nimmt noch Ladungen an, II (I) 149.
Silbernes Multiplicatorgewinde, I. 185.
Silberschenkel bei Ritter, I. 370.
SILLIMAN, über die elektrische Dame zu Orford, I. 21.
SIMON, P.L., Einfluss des Drucks auf den Widerstand von Elektrolyten, II (I) 82.
SINGER, die Stärke des Leydener Schlages bei gleicher Dichte angeblich unabhängig von der Elektricitätsmenge, I. 289 Anm.
Sinigaglia, Zitterrochenstation Galvani's am Adriatischen Meere, I. 86.
Sinnesnerven, allgemeines Gesetz ihrer elektrischen Erregung, I. 288; — und s. bei den einzelnen Sinnen.
SINSTEDEN, Induction in offenen Kreisen, I. 437. 438.
Sinusbussole, I. 197. 413.
SJÖSTÉN, freiwillige Elektrisirung des lebenden menschlichen Körpers, I. 14.
SMAASEN, Stromvertheilung in nicht prismatischen Leitern, I. 569; — Fundamentalgleichung des dynamischen Gleichgewichtes, 571.
SÖMMERING, elektrolytischer Telegraph, II (I) 226; — sah vielleicht schon die secundäre Zuckung vom Nerven aus, 529; — über die Identitätslehre, N. 36.
Soleus, M., vom Kaninchen, dient zur Erforschung der Ströme am natürlichen Querschnitt, I. 509.
SOMMER, Theorie der Todtenstarre, II (I) 159. 160 Anm.
Sonett auf die Entdeckung des Galvanismus, I. 39; — emendirt N. 16.
SPALLANZANI, LAZARO, Gefrieren der Muskeln, N. 47.
Spannungsreihe der Leiter erster Klasse nach Volta, I. 70; — deren Gesetz, 92; — schwankende Stellung der Metalle in derselben, 141; — Bestimmung der Spannungsreihe mittels des Gesetzes der Zuckungen durch Ritter, 316.
Spannweite des ableitenden Bogens am Muskel oder seinem Modell, I. 593; — absolute und relative Spannweite, 695.
Speichel, befördert nach Volta die Zukkung ohne Metalle, II (II) 163; — wirkt aber nicht entwickelnd auf den Strom des Gastroknemius, 164.
Sperling, Muskelstrom daran, I. 523. 698.
Spinnen, negativ elektrisirt, I. 23. N. 10.
Spiritusvoltameter, um einen grofsen Widerstand in einen Kreis einzuführen, II (I) 339. 459. 561; — s. auch Alkohol.
STARK, JAMES, gegen die Identitätslehre, II (I) 240.
STEFFENS, HENRIK, Einfluss der Elektrodengröfse auf die Elektrolyse, II (I) 149.
STEIGLEHNER, Leitung thierischer Gewebe, II (II) 190.
STEINHEIL, Widerstand des Erdbodens, I. 567; — Fernrohr aus seiner Werkstätte, II (II) 450.
STEINRÜCK, Versuch über doppelsinnige Leitung in den Nerven, II (I) 571. 572 Anm.
Stengel von Fritillaria, innerlich polarisirbar, II (II) 437.
STENSON, bei Haller über das Nervenprincip, II (I) 211.
STERNEBERG, freiwillige Elektrisirung des menschlichen Körpers, I. 15; — Elektricität des Blutes, 25; — Gesetz der elektrischen Zuckungen und Empfindungen, 390. 391; — findet Kämpz's trockene Säulen aus thierischen und pflanzlichen Stoffen unwirksam, 483 Anm. 4; — Tetanisiren durch rasch wiederholtes Schliefsen und Öffnen des Kreises, II (I) 38; — wiederholt vergeblich Larrey's, W. Fréd. Edwards' und David's Versuche, 231 Anm. 234.
Stickoxyd (gaz nitreux) nach Matteucci noch verderblicher für den Muskelstrom als Schwefelwasserstoff, II (I) 174. 175.
STILLING, über van Deen's Versuch gegen doppelsinnige Leitung in den Nerven, II (I) 578. 579; — läugnet Magendie's rückläufige Empfindlichkeit, 584.
Streckvorrichtung für den Muskel, kleine, II (I) 67. 86. 607. (II) 143; — grofse, II (I) 77. 130. 131. (II) 158.
Strömung, elektrische, in nicht prismatischen Leitern, I. 563—577.
Strömungscurven der Elektricität, I. 571.
Strömungsflächen, Spaltbarkeit der Leiter in denselben, I. 582. 583. 642.
Stromdichte, I. 136 Anm. 572; — ältere Erfahrungen über deren Bedeutung in Reizversuchen, 251 — 253 Anm.; — Mittel, sich eine geradlinige Curve der Stromdichte, bezogen auf die Zeit, zu verschaffen, 272. 273 Anm.; — Einfluss der absoluten Stromdichte auf die elektrische Nervenerregung, 293—295; — auf die Elektrolyse, II (I) 149; — auf die innere Polarisation, II (II) 444; — s. auch N. 25.
Stromschleifen, in Papierstreifen, II (I) 41 bis 44; — 295. 296.

Digitized by Google

Stromstärke, definirt, I. 136 Anm.
Stromumkehr, freiwillige, an absterbenden zarteren Muskeln, II (I) 154—156; — an Nerven, Hirn und Rückenmark, 283. 284; — durch Siedhitze, und durch elektrische Schläge, s. diese; — durch strahlende Wärme bewirkte Umkehr des Nervenstromes, 553. 554; — Theorie der Stromumkehr, 555 bis 557.
Stromwender, nach Pohl, I. 448; — Notation für seine sechs Quecksilbergefäfse, beziehungsweise Schraubenklemmen, 426. II (I) 459. 460; — nach ausgenommenem Kreuz als Wippe gebraucht, I. 426. II (I) 409. II (II) 241; — mit einem Drahtbügel zum Tetanisiren, II (II) 343.
Stromzuführende Vorrichtung für thierisch-elektrische Versuche, I. 450—452.
Strychninvergiftung, negative Schwankung des Gastroknemiusstromes durch Strychnintetanus, II (I) 57; — durch Erschöpfung der Muskeln von Einfluss auf ihre Stromkraft, 172—173; — negative Schwankung des Ischiadicusstromes durch Strychnintetanus, 510 — 517; — Strychnintetanus stets in eine Reihe vereinzelter Stöfse sich auflösend, 515; — secundärer Tetanus aber schwer durch primären Strychnintetanus zu erhalten, ebenda und II (II) 184. 185; — bildet darin den Übergang vom elektrischen zum willkürlichen Tetanus, 307.
STURGEON, thermoëlektrische Versuche an Metallmassen, I. 567; — bewegtes Eisen in verdünnter Salzsäure gegen ruhendes negativ, II (II) 326. 328.
Sublimatlösung zur Ableitung der thierisch-elektrischen Ströme, I. 217.
SUE, Geschichtschreiber des Galvanismus, I. 88.
SULZER, elektrischer Geschmacksversuch, I. 43. 53. 54 Anm.
Superposition der Ströme, Princip ihrer Zusammensetzung, I. 647. 701. II (II) 469.
SWAMMERDAM, angeblich galvanischer ihm von Duméril zugeschriebener Versuch, I. 43—46; — hat der Physiologie den Frosch entdeckt, 46.

T.

Tangentenbussole, I. 197.
Tanz, elektrischer Froschschenkeltanz durch die Zuckung ohne Metalle, I. 63. 83.
Taube, Strom an deren Beinen, I. 471. 533; — Muskelstrom, 523. II (I) 161; — Nervenstrom, 260. — Matteucci's Versuche an Tauben, I. 528. 530. 532. 540. 543. 544. II (I) 144.
Temperatur der Oberfläche der Finger, II (II) 226. 227.
Temperaturerhöhung vermindert den Widerstand von Elektrolyten, II (I) 83; — der Oberhaut, (II) 212—217; — beschleunigt den Eintritt der Starre, (I) 158 Anm. 178. 179; — Einfluss auf den Muskelstrom, 180; — den Nervenstrom, 287.
Temperaturerniedrigung, s. Erfrieren des Muskels und Frosch.
Tempiren von Pulversätzen, II (I) 519. N. 43.
Terpentinöl, Leitvermögen, II (I) 111 Anm. 113; — entwickelt den Strom des Gastroknemius, II (II) 61. 63.
Testudo europaea, s. Schildkröte.
Tetanisiren, Ausdruck zuerst von Matteucci gebraucht, II (I) 38; — dann vom Verfasser im „Vorläufigen Abriss", ebenda, 25; — definirt, 32; — Tetanisiren mittelst des Blitzrades, I. 413; — scheinbare Grenze der Geschwindigkeit des Rades, wobei der Tetanus aufhört, 420; — Tetanisiren auf elektrischem Wege, von Volta bis zum Verfasser, II (I) 35—40; — s. auch 411 und N. 32; — Kritik der Methode in thierisch-elektrischen Versuchen, 40 bis 45; — beste Art, elektrisch zu tetanisiren, ebenda und 391—395. II (II) 343; — Tetanisiren durch mechanische Gewaltthätigkeiten, Gehirnerschütterung, Zerstörung des Rückenmarkes, schnelles Enthäuten, 32—34. 52. 53. 54; — unmittelbar am Nerven, 52. 53. 517. 518; — durch Wärme, 54. 518—520; — durch chemische Einwirkung, I. 230. 467. II (I) 54. 55. 520; — durch Strychninvergiftung, 34. 35. 55—57. 510—517; — durch Öffnen der Kette nach Ritter, 57. 58; — Ausdehnung des Begriffs auf sensible Nerven, 290; — von den Hautverzweigungen aus, 520—522: — ideale Vorrichtungen zum elektrischen Tetanisiren, 404. 405. 414; — willkürliches Tetanisiren, 58. II (II) 276 ff.; — mittelbares Tetanisiren ausgeschnittener Kaninchenmuskeln mifslingt, 341.
Tetanus, definirt, II (I) 32; — sein Wesen, 37; — jeder Tetanus discontinuirlich, 90; — auch der Strychnintetanus, 515; — weshalb der willkürliche Tetanus nicht so erscheint, II (II) 306. 307; — secundärer Tetanus, II (I) 89; — Nobili's elektrisches Heilverfahren bei Tetanus, I. 267. 382

Digitized by Google

bis 385; — Art, dasselbe in's Werk zu setzen nach Matteucci, ebenda; — Tetanus als Symptom der Froschseuche, II (I) 169.
THEDEN'*sche Einwickelung* der Froschgliedmafsen II (II) 24.
Thermoströme, durch den menschlichen Körper hindurch am Nervenmultiplicator wahrnehmbar, II (II) 200; — Polarisation durch die einfache Thermokette, 201; — Thonthermoströme Nobili's, 201—203. 496; — Hydrothermoströme am menschlichen Körper, 206 bis 210; — an einer Leichenhand, 211. 212; — deren muthmafsliche Natur, 496.
Thierische Elektromotore, deren wesentliche Eigenthümlichkeiten, I. 685.
THIERRY, Versuch secundäre Zuckung vom Nerven aus zu erhalten, II (I) 529.
Thierströme, nach Analogie des Froschstromes, I. 470—473.
THILORIER und LAFONTAINE, elektrophysiologische Phantasien, II (I) 240.
Thon, Modellirthon, dessen innere Polarisirbarkeit, und der erste Gebrauch von Thonschilden, II (II) 430—432; — Thonschichten im Erdinneren, 496.
Thon, poröser, innerlich polarisirbar, II (II) 433. 474.
Thonschiefer, innerlich polarisirbar, II (II) 433.
DE THOURRY, Anhänger der Identitätslehre, II (I) 217.
Thonthermoströme, s. Thermoströme.
Tibialis, N., vom Frosch, II (I) 445. 546.
Tibialis anticus, M., vom Frosch, Strom zwischen sehnigen Enden, I. 497.
Tibialis posticus, M., vom Frosch, II (I) 546.
TIEDE, wissenschaftlicher Uhrmacher in Berlin, I. 107. II (I) 126.
TIEDEMANN, Herz in der Compressionspumpe, N. 34.
Tinca Chrysitis, s. Schley.
TISSOT, schliefst sich Haller's Ausführungen gegen die Identitätslehre an, II (I) 215 Anm.
Todesarten, ihr Einfluſs auf den Muskelstrom ihrem Einfluſs auf die Leistungsfähigkeit der Muskeln parallel gehend, II (I) 166; — die einzelnen Todesarten, 171—176.
Todtenstarre, Nysten's Gesetz derselben, I. 322. II (I) 164. 165; — bei strychninisirten Thieren früher eintretend, II (I) 30. 162. 163; — Grenze des Muskelstromes nach dem Tode, 156 bis 165.
Totalerregbarkeit der durchflossenen Strecke nach Ritter die Resultirende der partiellen Erregbarkeiten, I. 324.
Tourniquet am Arm oder Finger wirkt nicht elektromotorisch und ändert nichts am Erfolg bei willkürlichem Tetanus, II (II) 360—362.
Trachyt, innerlich polarisirbar, II (II) 433.
TRALLES, Elektricität der Wasserfälle, I. 23.
TRAUBE, LUDWIG, II (II) 417.
Trennungszuckung, s. Öffnungszuckung.
TREVIRANUS, G. R., Zuckungen durch Erschütterung der Elektroden, I. 270; — Gesetz der Zuckungen, 316; — über Ritter's Modificationen der Erregbarkeit durch geschlossene Ketten, 369.
Triceps femoris, M., vom Frosch, I. 492; — Strom zwischen sehnigen Enden, 496. 497. 512; — zur Darstellung der negativen Schwankung minder geeignet als der Gastroknemius, II (I) 49; — Rolle bei der Zurichtung der pararadoxen Zuckung, II (I) 546; — Endigung der Bündel an demselben, I. 501. II (II) 58; — vom Kaninchen, dient zur Erforschung der Ströme am künstlichen Querschnitt, I. 507—509.
Trigeminus, N., scheinbarer Einfluſs seiner sensiblen Portion auf Absonderung und Ernährung, II (I) 573. 574.
Triton cristatus, s. Wassermolch.
Tromben, Zerschlitzen der Baumstämme durch dieselben, II (II) 497.

U.

Überleben vom Organismus getrennter Gliedmafsen, II (I) 162—165.
Umlegen eines thierischen Erregers auf den Bäuschen, um schwache Wirkungen deutlicher hervortreten zu lassen, und von deren Ächtheit sich zu überzeugen, I. 242. 509. 514.
Ungleichzeitige Berührung der Froschhaut mit Salzbäuschen Ströme hervorrufend, II (II) 10. 11.
Ungleichzeitiges Eintauchen, durch dasselbe verursachte Ströme, I. 119. 146. 210.
Ungleichzeitigkeitsströme an verschiedenen Theilen des menschlichen Körpers und in verschiedenen Flüssigkeiten, II (II) 218—226; — sind keine Thermoströme, 226—229; — worin sie sich von den Strömen durch ungleichzeitiges Benetzen der Froschhaut unterscheiden, 229—231.
Unipolare Ablenkungen am Nervenmulti-

Digitized by Google

plicator und deren Beseitigung, II (I) 498—506.
Unipolare Inductionszuckungen, I. 429 bis 438; — deren praktische Bedeutung bei Reizversuchen mit Inductionsströmen, 435—437. II (I) 407. 449.
Unterbindungsvorrichtung für den Nerven, II (I) 341—343.
Unterbrechungsrad, I. 447; — Berechnung seines Schliefsungscoëfficienten *n*, II (I) 392 Anm. 589.
Unterlegescheiben für den Multiplicator, I. 174; — müssen isoliren, II (I) 505.
Unterschenkelstrecker, s. Triceps femoris.
Unvollkommen geschlossene Säule, I. 432.
Unwillkürliche Muskeln, I. 521; — s. auch glatte Muskeln.
Unwirksamkeit, elektromotorische, der Berührung verschiedener Gewebe, I. 481 bis 490. 521. 532 Anm. 556. II (I) 207. 209; — des frischen Bänderskelets, I. 491. 492.
URE, ANDREW, galvanische Versuche an Leichen Hingerichteter, II (II) 374. N. 53.
Ureter, s. Harnleiter.
Urin, s. Harn.
Uterus, s. Fruchthalter.

V.

VALENTIN, vermag den Nobili'schen Froschstrom nicht darzustellen, I. XVII; — mifsverstandene Anwendung der physikalisch-mathematischen Methode in der Physiologie, XXXII; — angebliche freiwillige Elektrisirung des menschlichen Körpers, 15 Anm.; — Kritik seiner Arbeiten im Gebiete der thierischen Elektricität, 129—156; — Putzen von Platinplatten, 206; — Erklärung des Umstandes, dafs man elektrische Schläge besonders in den Gelenken fühlt, 286 Anm.; — angebliche Jodkaliumelektrolyse durch den Muskelstrom ohne Einschaltung von Metallen, 440; — vergebliche Versuche elektrische Wirkungen von thätigen Muskeln zu erhalten, II (I) 11; — Urtheil über die Bedeutung des Froschstromes, 568. 569; — Plattenpaar zur Reizung von Wurzeln, 596; — Hautungleichartigkeiten des Frosches, II (II) 20; — Parelektronomie muthmafslich im Spiel bei seinen Versuchen, 169. 170.
VALLI, EUSEBIO, vertheidigt die galvanische Lehre gegen Volta, I. 66. 69. 71. 72. 79; — Unterband in Reizversuchen, 253; — Absterben des Nerven vom centralen Stumpf abwärts (Valli-Ritter'sches Gesetz), s. dieses; — hat die Öffnungszuckung zuerst beobachtet, I. 310; — Erregbarkeit ermüdeter Gliedmafsen schnell erschöpft, 375; — galvanische Zuckungen schwerer erfolgend bei noch erhaltener Verbindung mit den Centralgebilden, II (I) 563; — Kälte angeblich die Leitung des galvanischen Fluidums durch Wasser aufhebend, II (II) 30 Anm.; — zu Valli's Bibliographie, N. 19.
Valli-Ritter'sches Gesetz, I. 254. 321—323. II (I) 49. 285. 363. 460. 463. 559. 560 Anm. 562.
VASCO, Unterband in Reizversuchen, I. 253 Anm.
VASSALI-EANDI, Entladungsschläge von Aalen, Ratten und Katzen, I. 18; — negative Elektrisirung des Harns, 22; — angebliche negative Elektrisirung aller Absonderungen, 24; — das Goldblattelektroskop als Vitalitometer, 24; — Anhänger der Identitätslehre, II (I) 217.
VATER'sche (Pacini'sche) Körperchen, II (I) 241. 583.
Verblutung schwächt nach Matteucci den Muskelstrom, II (I) 176.
Verdauung, angebliche künstliche durch Elektricität, I. 109. 110. II (I) 223.
Verlängerung, unwirksam leitende, eines mit symmetrischen Längsschnittspunkten aufliegenden peripolaren Erregers, II (I) 525. (II) 79.
Vertical-Galvanoskop, von Siemens und Halske, II (II) 397. 450. 456.
VICQ-D'AZYR, über Lebenskraft, I. II (Motto); — XXXIV.
Viereckige Glasplatte, I. 449.
VIRCHOW, RUDOLPH, I. 523.
Vitalitometer, I. 24.
VOIGT, Einfluſs des Drucks auf den Widerstand der Elektrolyten, II (I) 82.
VOLKMANN, ALFRED, bekämpft Valentin, I. XXIII; — keine Reflexe nach Durchschneidung der hinteren Wurzeln an mit Opium reizbar gemachten Fröschen, II (I) 573; — stärkere Reflexe von der peripherischen Ausbreitung als von den Stämmen der Nerven, ebenda und 580; — Reflexleitung quer durch das Rückenmark, 577. 578; — über die doppelsinnige Leitung in den Nerven, 580. 585. 586; — gegen deren angebliche Endschlingen, 581. 582; — Seitenstück zu Magendie's rückläufiger Empfindlichkeit, 584; — N. 38.
VOLTA, ALESSANDRO, Leuchten der Blumen, I. 7; — Erklärung der freien Elektricität des menschlichen Körpers

Digitized by Google

durch Reibung der Kleider, 13; — negative Elektrisirung des Harns, 22; — wirft Galvani vor, den elektrischen Rückschlag nicht gekannt zu haben, 34; — Erklärung von Galvani's ursprünglicher Wahrnehmung durch den Rückschlag, 53; — Charakteristik Volta's, 37. 38; — erster Eindruck, den die Entdeckung Galvani's auf ihn macht, 51; — erster Keim des Gesetzes der Zuckungen, 52; — Volta entdeckt zum zweiten Mal den elektrischen Geschmack, 53; — die elektrische Lichterscheinung, 55; — Kohle kann das negative Metall in der galvanischen Kette ersetzen, 56. 68; — das Galvani'sche Präparat ein neues, und zwar das empfindlichste Elektrometer, 56. 282; — erste Zweifel an Galvani's Theorie, 57; — Ungleichartigkeit scheinbar gleichartiger Metalle, 58; — Volta der Entdecker der Oberflächenveränderungen, 61; — erklärt die Zuckungen mit Bögen aus nur Einem Metall, 67; — Zink das positivste der gebräuchlichen Metalle, 68; — erklärt die Zuckung ohne Metalle durch mechanische Reizung, 68. 69; — seine Spannungsreihe der Metalle, 70; — giebt die elektrische Natur der Zuckung ohne Metalle zu, 71; — entdeckt die Rolle der Achillessehne bei Erzeugung der Zuckung ohne Metalle, 72. 74. 526; — leitet die Zuckung ohne Metalle von der Berührung dreier ungleichartigen Stoffe ab, 72. 73; — Begriff der Elektromotore, 75; — Fundamentalversuche, 88; — schliefsliches Urtheil über die Zuckung ohne Metalle in den anonymen Briefen eines Bürgers von Como (er nimmt die Bedingung einer merklichen dreifachen Ungleichartigkeit zurück), 89—91; — erfindet die Säule, 91. 92; — Leiter dritter Klasse, 92; — von Napoléon als Erstem Consul geehrt, ebenda; — Theorie der Ritter'schen Ladungssäule, 237; — gesteigerte Empfindlichkeit des physiologischen Rheoskopes beim Hindurchleiten des Stromes durch die Nerven, 252 Anm.; — verkennt das allgemeine Gesetz der elektrischen Nervenerregung, 263; — falsche Voraussetzung seines Versuches, die freiwillige Ladung der thierischen Gliedmafsen zu schätzen, 264; — dauernder Schmerz im Säulenkreise, 283. 284. II (1) 567; — hat nur den Schliefsungs- und Öffnungsblitz gesehen, I. 284; — subjectives elektrisches Geräusch, 285; — saurer elektrischer Geschmack beim Eintauchen der Gegenspitze in eine alkalische Flüssigkeit, 287 Anm. 379; — oder bei Berührung der Zunge mit dem Finger, ebenda; — Abhängigkeit der Stärke von Flaschenschlägen von Elektricitätsmenge und -Dichte, 290—292; — steigender Schlag einer Leydener'schen stärker erregend als ein aufsteigender, 308; — Gesetz der Zuckungen, 314; — Theorie der Öffnungszuckung, ebenda; — der elektrische Geschmack bei centrifugalem Strom, 339; — elektrische Schmerz stärker an der Seite wo der Strom austritt, 355; — die sogenannten Voltaischen Abwechselungen, 367. 368; — galvanischer Stangenzirkel, 446; — Stromvertheilung in nicht prismatischen Leitern, die Zitterfische angewandt, 564; — Tetanus schnell zugerichteter Frösche II (1) 34; — Tetanisiren durch rasch wiederholtes Schliefsen und Öffnen des Kreises, 36; — Rolle der Parelektronomie in seinen Versuchen über die Zuckung ohne Metalle, (II) 159—161 — sieht in der Oberhaut den Hauptsitz des Widerstandes des Körpers 191; — Kohle in Reizversuchen den negativen Metallen ähnlich wirkend 460. 463 Anm.; — Ladungserscheinungen an einem Papierstreifen, 465. 466 — zu Volta's Bibliographie, N. 18.

Volumveränderung der Muskeln bei der Zusammenziehung, I. 44. II (1) 120.

Vorläufiger Abrifs des Verfassers (erste Darlegung seiner Ergebnisse bis zum November 1842), I. VI; 123; Auszug daraus, das Gesetz des Muskelstromes enthaltend, 532—534; — das elektromotorische Muskelscheer betreffend, 667 Anm.; — Art, die Richtung der thierisch-elektrischen Ströme anzugeben, 691 Anm.; — fehlerhafte Betrachtung über den Einflufs der Muskelmasse auf die Stromstärke 719 Anm.; — erste Darlegung der negativen Schwankung des Muskelstroms im Tetanus, II (1) 25. 26; — ungegründetes Bedenken hinsichtlich der Bedeutung dieser Schwankung, 73. 74 — die Todtenstarre als zeitliche Grenze des Muskelstromes, 156 Anm.; — Einflufs verschiedener Todesarten auf den Muskelstrom, 171. 172; — verschiedener den Muskel unmittelbar treffender Agentien, 178. 179. 182. 183. 186; — fehlerhafte Versuche über den Einflufs von Gasarten auf den Muskelstrom, 186. 187; — erste Anzeige des Nervenstromes, 208. 204; — bei Ab

Digitized by Google

leitung des Muskelstromes fungiren die Nerven als unwirksame feuchte Leiter, 245; — Muskelstrom am lebenden unversehrten Frosch, II (II) 23 Anm.; — scheinbare Entwickelung des Muskelstromes in Folge des Enthäutens, 24.

VORSSELMAN DE HEER, Ströme wegen Erschütterung polarisirter Elektroden, I. 212. 268. II (I) 190. (II) 333; — Stromdichte in Reizversuchen, I. 252 Anm.; — verkennt das allgemeine Gesetz der elektrischen Nervenerregung, 263.

W.

Wachstaffet, zur Isolirung der Muskeln auf den Bäuschen, I. 500. 628. 629.

Wärme, s. Temperaturerhöhung.

WAGNER, Mechaniker in Berlin, II (I) 405.

WAGNER, RUDOLPH, Nervenendigung in den Muskeln, II (I) 582. 583.

WALKER'sche Röhren, zu Versuchen über Flüssigkeitsketten, II (II) 404. 435.

WALSH, elektrische Natur des Zitterfisch-Schlages, II (I) 216.

Wanderplatte, um die Gliederzahl einer Säule zu ändern, II (II) 396.

WARTMANN, ÉLIE, vergeblicher Versuch, elektrische Wirkungen von Nerven zu erhalten, II (I) 249.

Wasser, dessen verderbliche Wirkung auf die Reizbarkeit, II (I) 183.

Wasserfälle, deren Elektrisirung, I. 23.

Wasserfrosch, s. Frosch.

Wassermolch, Muskelstrom daran, I. 523.

WEBER, EDUARD, Reaction der Iris auf den elektrischen Strom, I. 353; — Strom zwischen zwei mit ungleich warmem Wasser gefüllten Kupferbecken, deren Boden verschiedene Körpertheile berühren, 488 Anm.; — Bestimmung des Querschnitts eines Muskels durch Wägung, 704 Anm.; — angebliche Ablenkung des Magnetes durch Fernwirkung sich zusammenziehender Muskeln, II (I) 7. 8. 235; — Tetanisiren als Untersuchungsmittel, 39. 47; — animalische und organische Bewegung am contractilen Gaumenorgan der Cyprinoïden, 198; — animalische Bewegung des Schleydarmes, 200. 201; — Widerstand des menschlichen Körpers, 75 Anm. (II) 191 bis 199.

WEBER, ERNST HEINRICH, contractiles Gaumenorgan der Cyprinoïden, II (I) 198.

WEBER, WILHELM, nachträgliche Reckung von Seidenfäden, I. 172. II (I) 70; — mit Gauss, Magnetometer, I. 197; — unrichtige Auffassung der elektrischen Nervenerregung, 263 Anm.; — mit Eduard Weber, über die natürliche Stellung der Gliedmafsen, 329. 330; — Verzögerung der Entladung durch eine feuchte Schnur, 412; — mit Eduard Weber und Berthold, thermoelektrische Deutung der Donné'schen Ströme zwischen Absonderungsorganen, 488; — Wheatstone'sche Brücke, II (I) 500.

Weinbergsschnecke, Muskelstrom daran, I. 523. 524.

WEINHOLD, macht einem Kätzchen ein Gehirn aus Silberzinkamalgam, II (I) 220. 221; — nimmt eine isolirende Beschaffenheit der Nervenhüllen an, 276.

WERTHEIM, Elasticitätsgesetz der Gewebe, II (I) 66.

WERTHER, GUSTAV, Zeuge des Erfolges bei den Blasenpflasterversuchen, II (II) 367. 460.

WHARTON JONES, elektrische Theorie der Muskelzusammenziehung, II (I) 9. 10. 11. 240.

WHEATSTONE, Grenze der Polarisation des Platins, I. 239; — kleine Grove'sche Elemente, 446; — Brücke, II (I) 500.

WIDENMANN, für doppelsinnige Leitung in den Nerven, II (I) 575.

Widerstand, s. Leitungswiderstand.

WIEDEMANN, Elektrotransfusion, II (II) 422. 440. 496; — Spiegelbussole, 450.

WILKE, das Leuchten der Blumen elektrisch erklärt, I. 7. 8.

WILLIS, bei Haller über das Nervenprincip, II (I) 211.

WILMS, ROBERT, I. 523.

WILSON PHILIPP, will die Wirkung des N. vagus bei der Verdauung durch den galvanischen Strom ersetzt haben, I. 109. II (II) 221—223.

Wimperbewegung, elektrisch erklärt, I. 22 Anm.

Winkel zwischen Stromrichtung und Nerv, dessen Einfluſs auf die elektrische Erregung, I. 296; — auf den elektrotonischen Zuwachs, II (I) 354; — auf die negative Schwankung des Nervenstromes beim Tetanisiren, 462.

Wippe, s. Stromwender und Polarisationswippe.

WOLLASTON, elektrochemische Theorie

Digitized by Google

der Absonderungen, I. 27; — Unterbrochenheit der Muskelzusammenziehung und Muskelgeräusch, II (I) 7. (II) 306.
Wundenstrom am menschlichen Körper, II (II) 269. 364; — s. auch Menschenhaut und Blasenpflasterwunden.
Wurzeln der Rückenmarksnerven, Longet's und Matteucci's verkehrtes Gesetz der Zuckungen an den vorderen Wurzeln beim Pferd, Hund, Kaninchen und Frosch, I. 400—402. 408; — Versuch, in der durch ein Wurzelpaar gebildeten Nervenöse einen Strom zu induciren, II (I) 24 Anm.; — Nervenstrom an den Wurzeln, 255. 256; — Schwann's Versuch über doppelsinnige Leitung mit Reizung der Wurzeln nach zerschnittenem und wiederzusammengeheiltem Ischiadnerven, 571. 572; — Magendie's sensibilité récurrente, 583. 584; — Elektrotonus und negative Schwankung durch die Wurzeln in beiden Richtungen fortschreitend, 587 ff.; —Ausnahmefälle vom Bell'schen Gesetze, die paradoxe Zuckung, 595; — Verhalten der Spinalganglien bei Elektrotonus und negativer Schwankung, 601—603.

Y.

Yelin, II (II) 466 Anm.
Young, elektrochemische Theorie der Absonderungen, I. 27. II (II) 19 Anm.; — Anhänger der Identitätslehre, II (I) 219; — Heliostat, 522.

Z.

Zabétula (und Despina), die elektrischen Mädchen zu Smyrna, I. 21.
Zahnrädchen zum mechanischen Tetanisiren, II (I) 517.
Zamboni, zweigliedrige Säule, I. 100. 564; — Stromvertheilung in nicht prismatischen Leitern, 564.
Zantedeschi, angebliche elektrische Wirkungen der Nerven, mit Fario, II (I) 239. 319 Anm.; — falsche Ströme beim willkürlichen Tetanus, (II) 317. 318; — sucht sich den Versuch über Stromerzeugung bei willkürlichem Tetanus anzueignen, 319 Anm.; — N. 51.
Zeitscheiben, an der Polarisationswippe zur Beherrschung der Schliefsungs- und Übertragungszeit, II (II) 391—394.
Zenker, Batrachomyologia, I. 496.
Zinkplatinbogen zum Handgebrauch bei Reizversuchen, I. 445.
Zinkschenkel, bei Ritter, I. 370.
Zinnober, krystallisirter rother, Ladungserscheinungen daran nach Rosenschöld, II (II) 465.
Zitterfische, s. elektromotorische Fische.
Zucker erhöht den Widerstand von Wasser, II (II) 61.
Zuckungen durch Elektricität überhaupt, I. 34; — von Fischen durch Zitterfische, ebenda; — von Fröschen durch den Rückschlag bei Gewitter, 41; — durch Bögen aus ungleichartigen Metallen, 46; — bei Anlegen der Bögen an die Nerven allein, 47; — mit gleichartigen Bögen, 60: — mit Quecksilber, ebenda, 80. 81; — der Strom mufs an einer Stelle auf den Nerven allein als Bahn angewiesen sein, 252 ff.; — Zukungen an erschöpften Präparaten erst auf wiederholten Reiz eintretend, I. 477. II (I) 119. 562; — sogleich wieder verschwindend, 381. 563; — minder leicht erscheinend bei noch erhaltener Verbindung mit den Centraltheilen, 563; — Abhängigkeit von der Länge der erregten Nervenstrecke, I. 295. II (I) 559—561 Anm.; — von dem Winkel, den die Richtung des Stromes mit der Nervenaxe macht, I. 296; — s. auch allgemeines Gesetz der elektrischen Nervenerregung und Gesetz der Zuckungen.
Zuckung ohne Metalle, I. 62—64. 78. 82. 83; — fernere Schicksale bis zur Erfindung des Multiplicators, 93—102; — durch den Froschstrom erzeugt, 473—480; — durch den Muskelstrom in rationeller Form, 525—527.
Zuckung durch den Nervenstrom, I. 84. 85. II (I) 272—274. N. 39.
Zuckung, secundäre, vom Muskel und vom Nerven aus, s. secundäre und paradoxe Zuckung.
Zuckungen, unipolare, I. 423—438.
Zuleitungsbäusche, I. 221.
Zuleitungsgefäfse, I. 213; — Wiederherstellung ihrer Gleichartigkeit, 225.
Zunge, ihre Unbändigkeit nach Lichtenberg Ursache des dauernden elektrischen Geschmacks, I. 288; — ihr elektromotorisches Verhalten gegen mit Oberhaut überzogene Körpertheile und gegen Blasenpflasterwunden, II (II) 274. 275.
Zungenversuch, Sulzer's und Volta's, s. Geschmack.
Zurichtung der Frösche überhaupt, I. 459.

Digitized by Google

460; — des stromprüfenden Froschschenkels, 255. 260; — zur Beobachtung der negativen Schwankung des Gastroknemiusstromes nach Strychninvergiftung, I (1) 56. 57; — zur Beobachtung der paradoxen Zuckung, 546.
Zusammendrückung des Gastroknemius (Einfluss auf dessen Strom) senkrecht auf die Faser, II (1) 135—137; — der Faser parallel, 137. 138; — im parelektronomischen Zustande, (II) 158.
Zusammenfügung zweier elektromotorischen Vorrichtungen mit identischen Strömungsflächen lässt in beiden die Vertheilung der Elektricität ungeändert, I. 582. 583. 642.
Zusammengesetzte Kette, I. 469. 701. II (1) 364 und N. 50.
Zuwachs, elektrotonischer, II (1) 314; — s. elektrotonischer Zustand.
Zweige, holzige, von Prunus, Rhus, Acer, Sambucus, Salix, Cornus innerlich polarisirbar, II (II) 437. 438.
Zwischenbäusche, I. 223. 449.

Sinnstörende Druckfehler.

Erster Band (nachträglich).

S. 61 Z. 3 v. u. st. conta l. canta.
S. 222 Z. 5 v. o. st. diese l. dieser.
S. 310 Z. 7 v. o. st. Öffnungswirkung l. Öffnungszuckung.
S. 367 Z. 9 v. o. st. den veränderten Nerven l. die veränderte Strecke.
S. 411 Z. 5 v. u. st. zu dem bei der l. zu dem der bei der.
S. 446 Z. 20 v. o. st. aufwärts l. aufwärts, dann abwärts.

Zweiten Bandes erste Abtheilung.

S. 203 Z. 14 v. u. st. schon l. sehr.
S. 275 Z. 14 v. o. st. Leistungsfähigkeit l. Leitungsfähigkeit.
S. 308 Z. 16 v. u. st. fast l. sonst.
S. 309 Z. 5 v. u. st. 99 l. 98*.
S. 376 Z. 4 v. u. st. und der negativen l. über die negative.
S. 494 Z. 14. 15 v. o. ist der Satz zu streichen: Sie bleibt gestaltet etwa .... 126.

Zweiten Bandes zweite Abtheilung.

S. 122 Z. 14 v. o. st. künstlichen l. natürlichen.
S. 138 Z. 12. 13 v. u. st. Einfluss l. Zustand.
S. 153 Z. 16 v. u. st. inducirende l. inducirte.

Digitized by Google

Buchdruckerei von Gustav Schade (Otto Francke) in Berlin N.

Digitized by Google

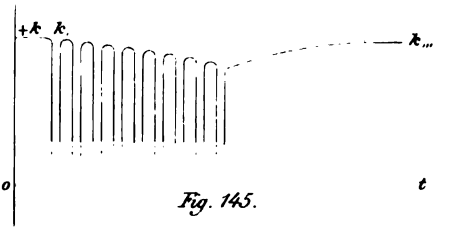


Fig. 145.

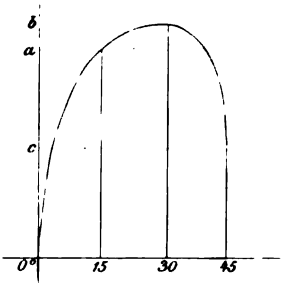


Fig. 146.

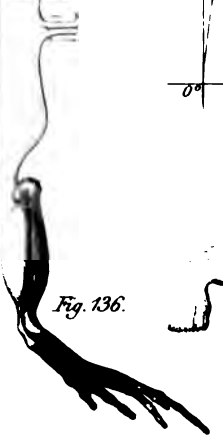


Fig. 136.

Fig. 140.

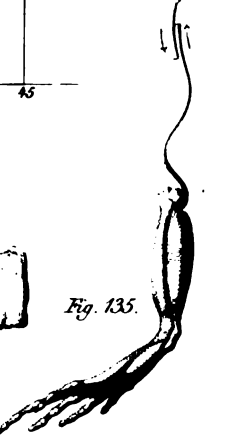


Fig. 135.

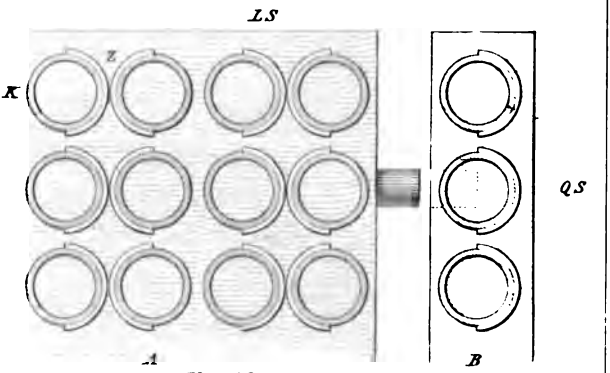


Fig. 143. – 10.

gest v. A. Knoblauch.

Digitized by Google

Buchdruckerei von Gustav Schade (Otto Francke) in Berlin N.

Digitized by Google

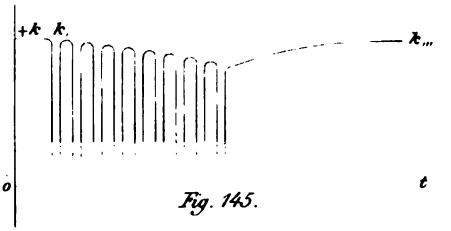


Fig. 145.

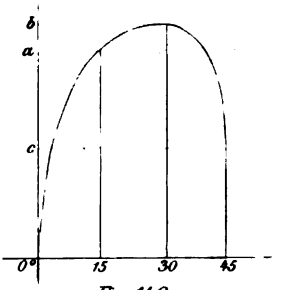


Fig. 146.

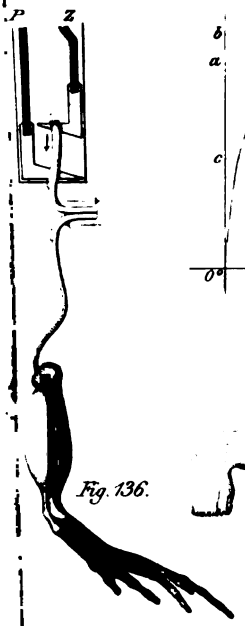


Fig. 136.

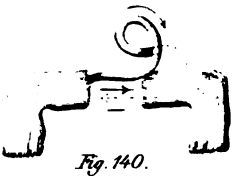


Fig. 140.

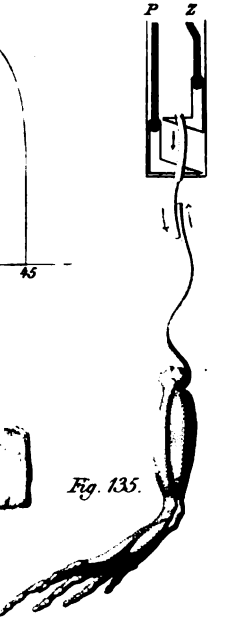


Fig. 135.

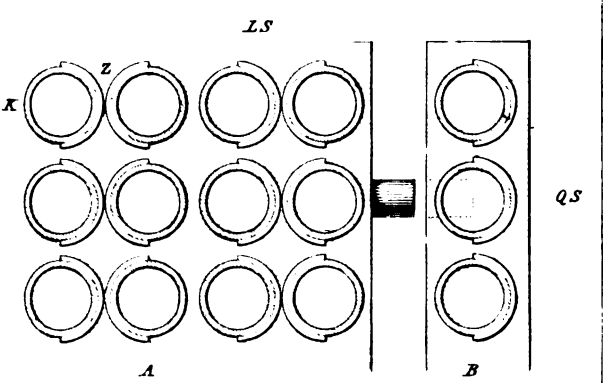


Fig. 143. 1o.

gest. v. A. Knoblauch.

Digitized by Google

Digitized by Google

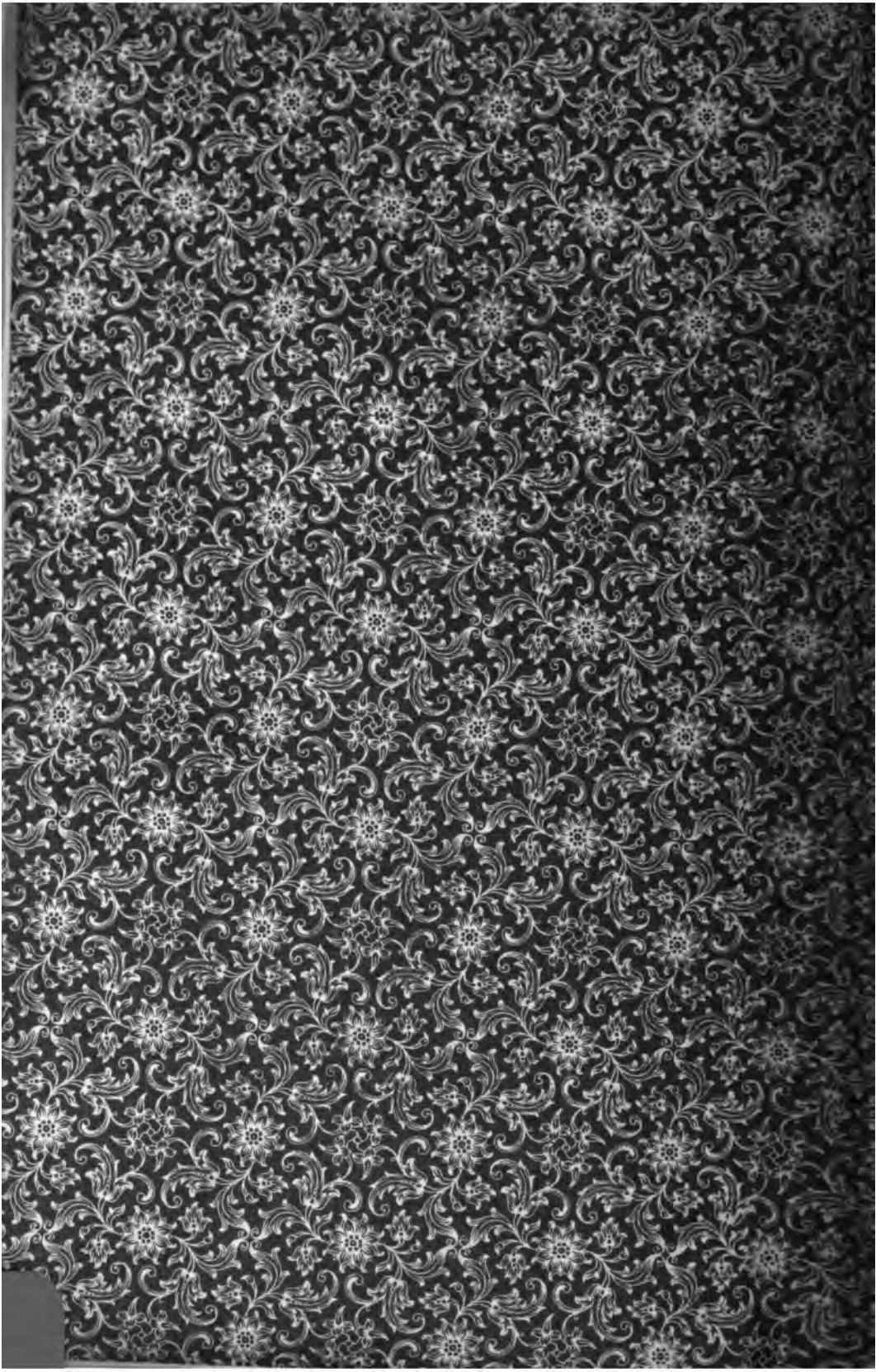
Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google



COUNTWAY LIBRARY
HC 1X15 Q

Digitized by Google